

УДК 539.1(47+57).092(082)
ББК 537.591
В35

Серия «Архив Московского университета»

Серия издается под общей редакцией
ректора МГУ академика **В.А. Садовниченко**
и профессора **В.И. Ильченко**

Редакционно-издательский совет:

*М.И. Панасюк (председатель),
Е.А. Романовский, Н.С. Зеленская, Н.Н. Калмыков, Ю.И. Логачев,
Л.С. Новиков, В.И. Тулупов, Н.А. Власова, Е.Н. Воронина*

В35 Академик Сергей Николаевич Вернов: к 100-летию со дня рождения. – М.: Издательство Московского университета, 2010. – 360 с., фото. – (Архив Московского университета).

ISBN 978-5-211-05854-5

Книга о выдающемся ученом и организаторе науки, лауреате Ленинской и Государственной премий СССР, Герое Социалистического Труда, директоре НИИЯФ МГУ и заведующем Отделением ядерной физики физического факультета МГУ (1960–1982) академике С.Н. Вернове (1910–1982) издается в связи со 100-летием со дня его рождения. Книга содержит научные статьи о современном состоянии космических исследований, а также многочисленные воспоминания коллег по работе и друзей.

УДК 539.1(47+57).092(082)
ББК 537.591

ISBN 978-5-211-05854-5

- © Экспертно-аналитическая служба
МГУ имени М.В. Ломоносова, 2010
- © Научно-исследовательский институт
ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, 2010
- © Издательство Московского университета, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

СЛОВО О СЕРГЕЕ НИКОЛАЕВИЧЕ ВЕРНОВЕ <i>Ректор МГУ академик В.А. Садовничий</i>	7
ПРЕДИСЛОВИЕ <i>Редакционно-издательский совет</i>	10
АКАДЕМИК СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕРНОВ (1910–1982). Краткий биографический очерк <i>Е.А. Романовский</i>	12
ЧАСТЬ I. СТАТЬИ ПО СОВРЕМЕННЫМ ВОПРОСАМ КОСМОФИЗИКИ	29
СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ В МГУ <i>М.И. Панасюк</i>	29
С.Н. ВЕРНОВ – ПИОНЕР ИССЛЕДОВАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ <i>Г.А. Базилевская, Ю.И. Стожков</i>	57
ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ И СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ В НИИЯФ МГУ <i>Н.Н. Калмыков, Г.В. Куликов</i>	72
РОССИЙСКАЯ СЕТЬ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ: ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ <i>А.В. Белов</i>	93
ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ КОСМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ <i>А.И. Акишин, Л.С. Новиков</i>	116
ЧАСТЬ II. ВОСПОМИНАНИЯ О СЕРГЕЕ НИКОЛАЕВИЧЕ ВЕРНОВЕ	135
ВСПОМИНАЯ СЕРГЕЯ НИКОЛАЕВИЧА ВЕРНОВА <i>С.С. Герштейн, А.А. Логунов</i>	135
ВЫДАЮЩИЙСЯ ДИРИЖЕР НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ <i>Г.Б. Христиансен</i>	137
О СЕРЕЖЕ ВЕРНОВЕ <i>Е.Л. Фейнберг</i>	138
ШТРИХИ К ПОРТРЕТУ СЕРГЕЯ НИКОЛАЕВИЧА ВЕРНОВА <i>А.Н. Сисакян</i>	140
СНОВА О ВЕРНОВЕ (к 100-летию со дня рождения академика С.Н. Вернова) <i>А.Н. Сисакян</i>	146
СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ <i>Г.Ф. Крымский</i>	151
С.Н. ВЕРНОВ В РАДИЕВОМ ИНСТИТУТЕ <i>Е.А. Шашуков</i>	158
ЭТО БЫЛ НАСТОЯЩИЙ ДРУГ <i>Н.С. Иванова</i>	160
СЕМЕЙНЫЕ ВОСПОМИНАНИЯ <i>Е.С. Вернова, Ю.С. Вернов, М.Н. Мнацаканова</i>	167
ЧЕЛОВЕК, ПРЕОДОЛЕВАЮЩИЙ ВСЕ МЫСЛИМЫЕ И НЕМЫСЛИМЫЕ ПРЕПЯТСТВИЯ <i>Н.Л. Григоров</i>	184

МОИ ДОВОЛЬНО СУМБУРНЫЕ ВОСПОМИНАНИЯ <i>Л.Т. Барадзей</i>	191
ВОСПОМИНАНИЯ О С.Н. ВЕРНОВЕ <i>В.С. Мурзин</i>	195
ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В КОСМОСЕ (1947–1951) <i>В.И. Соловьева</i>	204
С.Н. ВЕРНОВ И НАЧАЛО КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ <i>Ю.И. Логачев</i>	208
СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕРНОВ КАК ЧЕЛОВЕК, УЧЕНЫЙ, УЧИТЕЛЬ И ОРГАНИЗАТОР НАУКИ <i>Л.И. Дорман</i>	217
СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕРНОВ И КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НИИЯФ МГУ <i>Е.В. Горчаков</i>	233
Я БЛАГОДАРЕН СУДЬБЕ <i>И.М. Подгорный</i>	237
СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕРНОВ И ЕГО КОСМОФИЗИЧЕСКАЯ ШКОЛА <i>Г.П. Любимов</i>	243
ВОСПОМИНАНИЯ О СЕРГЕЕ НИКОЛАЕВИЧЕ ВЕРНОВЕ <i>И.В. Гецелев</i>	263
С.Н. ВЕРНОВ – ОТ МОСКВЫ ДО САМЫХ ДО ОКРАИН <i>Л.Л. Лазутин</i>	271
ИСТОКИ КОСМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ <i>А.И. Акишин</i>	274
С.Н. ВЕРНОВ – ОРГАНИЗАТОР КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СОВЕТСКОМ ГОСУДАРСТВЕ <i>И.Н. Топтыгин</i>	281
КАКИМ МНЕ ЗАПОМНИЛСЯ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕРНОВ <i>В.А. Дергачев</i>	286
С.Н. ВЕРНОВ – УЧЕНЫЙ, МУДРЫЙ УЧИТЕЛЬ И НАСТАВНИК <i>А.Т. Абросимов</i>	298
С.Н. ВЕРНОВ И ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ <i>И.В. Ракобольская</i>	322
СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕРНОВ – КООРДИНАТОР ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ВУЗАХ СССР <i>Н.С. Зеленская</i>	325
ПОСЛЕДНЕЕ НАУЧНОЕ УВЛЕЧЕНИЕ С.Н. ВЕРНОВА <i>Г.А. Базилевская</i>	328
ЖАЖДА НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ – ДО ПОСЛЕДНЕГО ЧАСА <i>Л.В. Тверская</i>	332
ЧАСТЬ III. БИБЛИОГРАФИЯ ТРУДОВ С.Н. ВЕРНОВА	337
НАУЧНЫЕ ТРУДЫ С.Н. ВЕРНОВА	337
СТАТЬИ В ГАЗЕТАХ И ЖУРНАЛАХ	354
ПРИЛОЖЕНИЕ. Коротко об авторах	356

СЛОВО О СЕРГЕЕ НИКОЛАЕВИЧЕ ВЕРНОВЕ

11 июля 2010 г. исполняется 100 лет со дня рождения академика Сергея Николаевича Вернова – ученого с мировым именем, Героя Социалистического Труда, лауреата Ленинской и Государственной премий СССР, одного из основателей, а с 1960 по 1982 гг. – директора Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына и заведующего Отделением ядерной физики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Педагогическая и научная деятельность Сергея Николаевича Вернова в Московском университете началась в 1940 г., когда по инициативе академика Сергея Ивановича Вавилова на физическом факультете университета была образована первая в нашей стране кафедра по ядерной физике – кафедра атомного ядра и радиоактивности. Заведовать кафедрой стал Дмитрий Владимирович Скобельцын, он пригласил Сергея Николаевича работать на кафедре профессором по совместительству. В 1941 г. состоялся первый выпуск студентов, окончивших эту кафедру. Со времени возвращения из эвакуации в 1943 г. и до последних дней жизни Сергей Николаевич – профессор, а затем заведующий кафедрой космических лучей и физики космоса физического факультета.

Вместе с Д.В. Скобельцыным С.Н. Вернов, будучи в 1946–1960 гг. заместителем, а с 1960 по 1982 гг. директором НИИЯФ, внес огромный вклад в дело создания и развития института и отделения ядерной физики физфака МГУ. Годы работы С.Н. Вернова в МГУ ознаменовались началом, а затем широким развертыванием работ по исследованию космоса с помощью искусственных спутников Земли (ИСЗ) и космических ракет. Под руководством С.Н. Вернова в НИИЯФ МГУ в 1957–1982 гг. была спроектирована, изготовлена и отправлена для исследования в космосе аппаратура, установленная на 140 спутниках и космических ракетах. С.Н. Вернов и коллектив института внесли существенный вклад в изучение явлений, происходящих в космосе. С.Н. Вернов организовал в рамках ОЯФ физфака МГУ подготовку кадров – исследователей космоса, создал крупнейшую научную школу по исследованию физики космоса и космических лучей, плодотворно работающую и в настоящее время.

Сергей Николаевич был исключительно яркой личностью, и это находило отражение во всей его деятельности. Человек кипучей энергии, энтузиаст науки, безгранично ей преданный, он обладал острым чувством но-

вого, редкой целеустремленностью. Его талант и напористый, боевой характер позволили ему охватить многие научные направления: стратосферные исследования; изучение широких атмосферных ливней; пионерские работы на первых ИЗС и детальное изучение радиационных поясов Земли; выяснение ряда фундаментальных закономерностей физики Солнца, магнитосферы и ионосферы Земли; использование тяжелых спутников для исследования частиц высокой энергии; работы в области космического материаловедения. Сергей Николаевич умел создавать вокруг себя атмосферу творчества, мобилизовать большие коллективы на решение наиболее важных задач. Нас, его коллег, всегда восхищала его способность концентрировать духовные и материальные усилия на самом существенном. И это приносило свои плоды. Многие из работ, которые были начаты и проводились по его инициативе, завершались научными открытиями, установлением новых физических закономерностей. Одной из ярких черт Сергея Николаевича было стремление тесно увязать решение фундаментальных проблем науки с насущными задачами практики. Это ему удавалось и приводило к важным результатам.

Сергей Николаевич был не только крупным и талантливым ученым, он являлся учителем в самом высоком и благородном смысле этого слова. Многие и многие сотни специалистов с полным основанием считают себя его учениками. Они учились на его лекциях, в совместной работе, на семинарах, к проведению которых он всегда относился с большим вниманием.

Характеристика С.Н. Вернова как ученого и педагога Московского университета будет неполной, если не сказать об очень большой его деятельности в качестве популяризатора науки вообще и достижений ученых МГУ в особенности. С.Н. Вернов выступал с докладами в лектории МГУ, на ВДНХ, его научно-популярные статьи печатались во многих центральных и местных газетах, в научно-популярных журналах.

Сергей Николаевич Вернов был очень жизнерадостным и обаятельным человеком. Его отзывчивость, его стремление помочь в трудную минуту, его доброта снискали ему общее уважение и любовь.

МГУ – ведущий научный центр страны – внес весомый вклад в развитие фундаментальной науки и в становление отечественного университетского образования. Сергей Николаевич Вернов относится к плеяде ученых Московского университета, составляющих его гордость. С его именем связаны эпохальные достижения нашей страны по атомному проекту и освоению космоса. Сегодня, когда Московский университет совершает коллективный прорыв в будущее, когда единственными российскими научными спутниками, работающими или запускаемыми в космос, являются спутники Московского университета, мы высоко оцениваем научный задел, созданный С.Н. Верновым и его учениками.

В этой книге представлены обзоры по современным вопросам космофизики, написанные учениками и соратниками С.Н. Вернова, продолжающими развивать исследования в космосе, и воспоминания о нем. Все, что сказано в обзорных статьях и статьях-воспоминаниях, позволяет заключить, что путь в науке и в жизни Сергея Николаевича Вернова – ярчайший пример для подражания и воспитания нового поколения исследователей. Именно им предстоит воплощать в жизнь новую программу развития Московского университета, в которой космические исследования занимают важное и достойное место.

Ректор Московского университета
академик

 В.А. Садовничий

ПРЕДИСЛОВИЕ

Эта книга издается к 100-летию со дня рождения выдающегося ученого, педагога, организатора и популяризатора науки лауреата Ленинской и Государственной премий, Героя Социалистического Труда академика Сергея Николаевича Вернова (1910–1982). Создание уникального юбилейного издания, посвященного С.Н. Вернову, поддержано ректором МГУ академиком В.А. Садовничим, написавшим к нему введение, в котором подчеркнуто, что современные успехи Московского университета в раскрытии тайн космоса связаны в большой степени с именем С.Н. Вернова, заложившего основы для плодотворных космофизических исследований на многие годы вперед. Книга издается в серии «Архив Московского университета» при поддержке Экспертно-аналитической службы МГУ в лице профессора В.И. Ильченко.

С 1940 по 1982 гг. научная и педагогическая деятельность С.Н. Вернова проходила в Московском университете, в стенах которого он сделал выдающиеся научные открытия, создал крупнейшую научную школу и воспитал замечательную плеяду ученых-космофизиков.

Первый сборник «Воспоминания об академиках Д.В. Скобельцыне и С.Н. Вернове» – основателях Научно-исследовательского института ядерной физики (НИИЯФ) и отделения ядерной физики (ОЯФ) физического факультета Московского университета – был издан в канун 50-летнего юбилея НИИЯФ в 1996 г. Сборник был встречен научной общественностью с большим интересом и вскоре стал библиографической редкостью. Аналогичным образом стали раритетами книги «Сергей Николаевич Вернов – ученый, педагог и популяризатор науки (к 90-летию со дня рождения. 1910–2000 гг.)» и «С.Н. Вернов – ученый Московского университета», изданная к 250-летию Московского государственного университета.

При подготовке настоящего издания редакционный совет обратился ко многим выдающимся ученым с просьбой написать научные статьи о современном состоянии космофизических исследований, а к тем, кто близко знал С.Н. Вернова и работал вместе с ним многие годы, – краткие воспоминания. В результате удалось собрать материалы, включающие как научные статьи, отражающие передовые позиции российской науки и Московского университета в исследовании ближнего и дальнего космоса, так и очень искренние и интересные воспоминания известных ученых, друзей и близких Сергея Николаевича с уникальным иллюстративным материалом.

Книга состоит из трех частей и приложения. Часть I содержит научные статьи по современным вопросам космофизики, II – воспоминания о С.Н. Вернове, III – библиографию его трудов. В приложении даны сведения об авторах статей и воспоминаний. Научные статьи, как правило, датированы 2009 г., а воспоминания – годом их написания, поскольку некоторых авторов, к сожалению, уже нет с нами. Собранные вместе, воспоминания воспроизводят яркий образ замечательного ученого, педагога и человека.

Сергей Николаевич Вернов – выдающийся представитель научной элиты Московского университета, блестящий организатор научных исследований и общественный деятель – всегда будет являться для молодого поколения ученых и преподавателей нашей страны наглядным примером высокого служения науке, честного, преданного и самоотверженного.

Редакционный совет выражает глубокую благодарность всем авторам статей и воспоминаний, Е.С. Верновой и А.Т. Амбросимову за предоставленный уникальный фотоматериал, а также О.В. Беспаловой, Л.Д. Высоцкой, Г.А. Симонову и К.И. Стратилатовой за большую работу по подготовке книги.

Редакционно-издательский совет

АКАДЕМИК СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕРНОВ (1910–1982)

Краткий биографический очерк

Е.А. Романовский

Сергей Николаевич Вернов родился 11 июля 1910 г. в г. Сестрорецке Ленинградской области. Его отец, Николай Степанович Вернов, был почтовым служащим, мать, Антонина Михайловна Вернова, преподавала математику в школе. О детских годах Сергея Николаевича, его родителях и близких родственниках очень интересные подробности собраны в статье [1].

Сергей Николаевич учился в Единой трудовой школе в Ленинграде. После ее окончания в 1926 г. он сначала поступает в механический техникум, а с 1927 г. становится студентом физико-механического факультета Ленинградского политехнического института и в 1931 г. получает диплом инженера-физика. Будучи студентом, С.Н. Вернов в 1929–1930 гг. работал лаборантом, а в 1930–1931 гг. – научным сотрудником Радиевого института Наркомпроса в Ленинграде.

В 1931–1934 гг. С.Н. Вернов – аспирант физического отдела Радиевого института, где началась его полувековая работа по изучению космических лучей. Будучи аспирантом, С.Н. Вернов одновременно с 1932 по 1935 гг. работал ассистентом на кафедре механики и статистики Ленинградского государственного университета.

Тематика научных исследований С.Н. Вернова была связана с изучением первичной компоненты космических лучей. Для измерений этой компоненты С.Н. Вернов создал первую в мире аппаратуру для стратосферных исследований с передачей данных на Землю по радио. Полученные с помощью этой аппаратуры результаты изложены в защищенной им в 1935 г. кандидатской диссертации «Изучение космических лучей в стратосфере при помощи радиозондов». После окончания аспирантуры С.Н. Вернов с 1934 по 1935 гг. работает старшим научным сотрудником Радиевого института.

Еще будучи аспирантом Радиевого института, С.Н. Вернов посещает еженедельный семинар академика А.Ф. Иоффе в Ленинградском физико-техническом институте. Руководителем ядерной секции этого семинара был Д.В. Скобельцын. Вернов поставил перед собой задачу – стать учеником Дмитрия Владимировича. Как он этого добился, Сергей Николаевич образно описал в своих воспоминаниях [2]. В эти же годы Сергей Николаевич познакомился с Марией Сергеевной Меркуловой. Ее научным ру-

ководителем был директор Радиевого института академик Виталий Григорьевич Хлопин. В 1932 г. Сергей Николаевич и Мария Сергеевна стали мужем и женой [1].

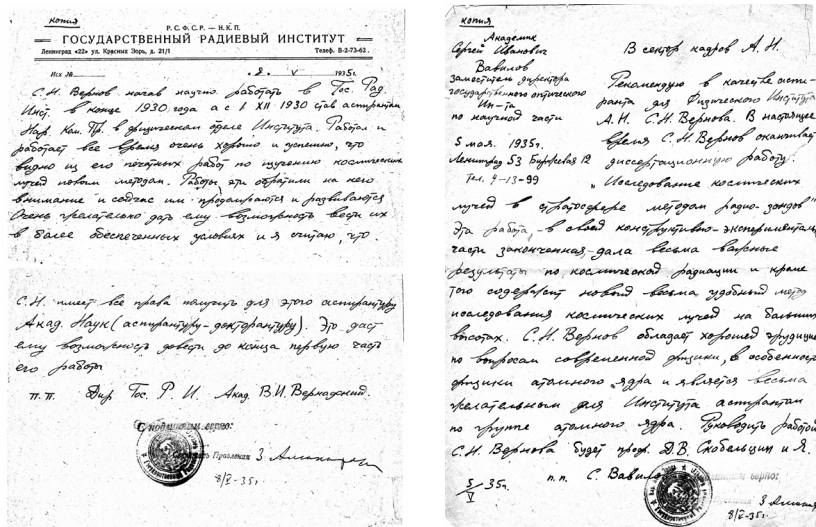


Рис. 1. Копии рекомендаций С.Н Вернова в аспирантуру Академии наук и в аспирантуру-докторантуру ФИАН, написанных академиками В.И. Вернадским (слева) и С.И. Вавиловым (справа)

После защиты в 1936 г. кандидатской диссертации по рекомендации академиков С.И. Вавилова и В.И. Вернадского (рис. 1) С.Н. Вернов поступает в докторантуру Физического института им. П.Н. Лебедева АН СССР. Как это было, очень эмоционально рассказал сам Сергей Николаевич [2].

В 1935 г., когда мне было всего 25 лет, меня вызвал член президиума Академии наук СССР, научный руководитель ГОИ, директор ФИАН, замечательный ученый и человек, незабвенный Сергей Иванович. С.И. Вавилов предложил мне поступить в докторантуру АН СССР и переехать из Ленинграда в Москву. Думаю, что легко понять мое состояние. Мне, кандидату наук, предлагают поступить в докторантуру. Но все же с дрожью в голосе я сказал: «Но я думал работать у Скобелыцына». Сергей Иванович посмотрел на меня своими добрыми глазами, которые одновременного пронизывали собеседника насквозь. Со свойственным С.И. Вавилову сочетанием «мягкости» и «твердости» Сергей Иванович ответил: «Чудак-человек. Скобелыцын будет в Москве. Это я Вам гарантирую».

С 1935 по 1939 гг. Сергей Николаевич – докторант Физического института Академии наук СССР. В конце 1936 г. он переезжает в Москву и поселя-

ется вместе со всей семьей на улице Горького в двухкомнатной квартире на 5-м этаже общежития для докторантов АН СССР. В этом общежитии семья прожила 17 лет. В статьях [1, 3, 4] рассказано много интересных подробностей и дан портрет С.Н. Вернова как выдающегося ученого и человека.

Будучи докторантом ФИАН С.Н. Вернов под руководством Д.В. Скобельцына и С.И. Вавилова продолжил изучение природы космических лучей. Сергей Николаевич занимался изучением широтного эффекта в стратосфере и проверкой каскадной теории. С.Н. Вернов считал, что нельзя решить задачу о составе первичных частиц космических лучей без понимания и объяснения процесса их поглощения в атмосфере. В те годы для объяснения процесса поглощения космических частиц в атмосфере можно было попытаться воспользоваться только теорией электронных каскадов. Сергей Николаевич устранил ряд противоречий между экспериментом и теорией. Его работы послужили отправным пунктом в развитии И.Е. Таммом и С.З. Беленьким теории каскадных процессов [5]. С.Н. Вернов изучает широтный эффект космических лучей в стратосфере – измеряет высотный ход интенсивности на разных широтах. В 1936 г. он провел успешные полеты в районах Ленинграда и Еревана [6], а в 1937–1939 гг. – в районе экватора, где с преодолением огромных трудностей приборы запускались с борта теплохода «Серго» [7]. Успешный эксперимент С.Н. Вернова, выполненный им одновременно с американским физиком Р. Миллиkenом, позволил сделать заключение, что около 75% первичных частиц космического излучения обладают электрическим зарядом, а не являются γ -квантами, как многие думали до этого [8]. В 1939 г. С.Н. Вернов защитил докторскую диссертацию «Широтный эффект космических лучей в стратосфере и проверка каскадной теории в случае прохождения электронов через вещество с малым атомным номером». Это была первая в ФИАН докторская диссертация по космическим лучам [8].

Будучи докторантом ФИАН С.Н. Вернов в 1935–1937 гг. работал ученым секретарем комиссии по изучению стратосферы АН СССР. В статье [9] Вернов отметил выдающуюся роль С.И. Вавилова как руководителя штурма стратосферы и космоса. Он писал, что штурм стратосферы позволил создать новую науку, аэрологию – раздел физики атмосферы, изучающий процессы, происходящие в свободной атмосфере. С.Н. Вернов считал, что работа в качестве ученого секретаря комиссии была для него большим счастьем, потому что это давало возможность больше общаться с С.И. Вавиловым.

После окончания докторантуры с 1939 по 1943 гг. С.Н. Вернов работает старшим научным сотрудником ФИАН и до начала Великой Отечественной войны занимается в основном изучением переходных эффектов космических лучей. В эти же годы С.Н. Вернов под руководством Д.В. Скобельцына, который с 1938 г. полностью перешел на работу в ФИАН и заменил

С.И. Вавилова в качестве руководителя работ по ядерной физике и космическим лучам, много сил отдал делу расширения ядерно-физических исследований в ФИАН и созданию первой в СССР кафедры экспериментальной ядерной физики в Московском университете.

В довоенные годы научные сотрудники лаборатории атомного ядра ФИАН под руководством С.И. Вавилова и Д.В. Скобельцына выполнили работы, пополнявшие копилку достижений ядерной физики. Президиум АН СССР в конце ноября 1938 г. принимает внесенное предложение о строительстве в ФИАН мощного циклотрона и ставит перед МГУ вопрос о создании экспериментальной кафедры исследования атомного ядра и соответствующей лаборатории.

Как известно, в 1939 г. в ядерной физике было сделано крупнейшее открытие, предвещавшее начало ядерной эры. Изучение нового физического явления – деления тяжелых атомных ядер – развивалось небывалыми в истории науки темпами.

Для расширения исследований требовалось расширение экспериментальной базы и увеличение выпуска специалистов. Для подготовки техзаданий на сооружение мощного циклотрона в 1940 г. в ФИАН была организована «циклотронная бригада», в которую вошли В.И. Векслер, С.Н. Вернов, Л.В. Грошев, Е.Л. Фейнберг и П.А. Черенков. Итоги ее работы нашли отражение в Постановлении СНК от 6 мая 1941 г. о строительстве в ФИАН самого мощного в Европе циклотрона.

1940 год в истории развития отечественной ядерной физики был отмечен открытием 11 июня на физическом факультете МГУ кафедры атомного ядра и радиоактивности. Кафедру возглавил Д.В. Скобельцын, а профессорами кафедры стали С.Н. Вернов и И.М. Франк. Более подробная информация о начальном этапе подготовки физиков-ядерщиков в Московском государственном университете содержится в статье [10].

В период 1941–1943 гг. С.Н. Вернов вместе с ФИАН был в эвакуации в Казани, где занимался оборонными работами. По возвращении ФИАН из эвакуации в Москву в 1943 г. С.Н. Вернов продолжил свои работы по исследованию первичных космических лучей и процессов генерации ими в атмосфере вторичных излучений. В 1943 г. С.Н. Вернов, продолжая научные исследования в ФИАН, переходит на основную работу в МГУ в качестве профессора кафедры атомного ядра и радиоактивности, где постепенно, но с большой целеустремленностью создал свою научную школу по физике космических лучей из сотрудников не только МГУ и ФИАН, но и других институтов СССР [8]. Одновременно с 1943 по 1960 гг. по совместительству работал заведующим сектора ФИАН.

В 1943 г. Д.В. Скобельцын, С.Н. Вернов и И.М. Франк возобновили чтение лекций для студентов кафедры. Ее выпускники вскоре оказались востребованы для работы в руководимой И.В. Курчатовым лаборатории № 2.

Однако специалистов-физиков для этого не хватало. Быстро подготовить специалистов можно было только за счет переподготовки бывших выпускников физфака. Д.В. Скобельцын обратился к правительству с просьбой о срочной демобилизации из рядов Советской армии выпускников физфака. Во исполнение постановления правительства во время войны командиры вызывали военнотружущих (в основном офицеров) и давали приказ: срочно выезжать в Москву в распоряжение Д.В. Скобельцына [2].

В ноябре 1944 г. академик И.В. Курчатов утверждается в должности профессора (по совместительству) кафедры атомного ядра и радиоактивности МГУ. При кафедре тогда же организуется Лаборатория атомного ядра. Заведующим этой лабораторией назначается С.Н. Вернов. К середине 1945 г. на кафедре Д.В. Скобельцына помимо С.Н. Вернова, И.М. Франка, И.В. Курчатова работали В.И. Векслер, Л.В. Грошев, Б.М. Исаев, В.С. Шпинель, С.С. Васильев. В лаборатории кафедры под руководством С.Н. Вернова началась разработка уникальной аппаратуры для стратосферных исследований космических лучей. С созданием в 1946 г. НИИЯФ МГУ фронт этих работ существенно расширился. С.Н. Вернов отмечал, что при создании НИИЯФ «были большие трудности, так как все надо было делать на пустом месте. Но без научных исследований нет базы для подготовки специалистов. А в области ядерной физики масштабы исследований, как правило, весьма велики. Если ограничиться скромными рамками, то добиться успеха маловероятно. Это понял Д.В. Скобельцын и поставил перед собой и нами задачу – создать НИИЯФ как крупное учебно-научное учреждение. Много сил затратил Дмитрий Владимирович для реализации поставленной задачи. Но его

принцип “или не делать, или делать хорошо” – помог. НИИЯФ МГУ был создан» [2].

Постановление СНК СССР о создании при МГУ Института физики атомного ядра было подписано 28 января 1946 г. На основании этого постановления 31 января 1946 г. народный комиссар просвещения РСФСР обязал ректора МГУ (тогда ректором был профессор И.С. Галкин) организовать с 1 февраля 1946 г. Институт физики атомного ядра (в откры-

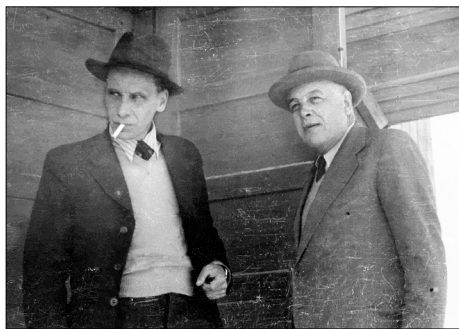


Рис. 2. С.Н. Вернов и Д.В. Скобельцын
(Памир, 1949)

тых документах до 1956 г. – Второй научно-исследовательский физический институт МГУ или НИФИ-2). Директором института был назначен Д.В. Скобельцын, а его первым заместителем – С.Н. Вернов (рис. 2). В 1956 г. институт получил современное название – Научно-исследователь-

ский институт ядерной физики – НИИЯФ МГУ. С созданием НИФИ-2 кафедры атомного ядра и радиоактивности была преобразована в кафедру строения вещества. Ее заведующим был назначен С.Н. Вернов. Д.В. Скобелцын с 1946 по 1948 гг. находился в командировке в США и работал в Постоянном представительстве СССР при ООН. В этот период на плечи С.Н. Вернова легли все обязанности по созданию института и организации подготовки студентов на кафедре строения вещества. На кафедре началось чтение большого числа специальных курсов. Спецкурс «Взаимодействие излучения с веществом» для студентов читал С.Н. Вернов [10].

В 1946 г. было принято постановление СНК о значительном расширении в ФИАН исследований по ускорителям и космическим лучам. Этим постановлением предусматривалось также создание в г. Долгопрудном под Москвой стратосферной станции для изучения первичного космического излучения и его прохождения через атмосферу. Начальником стратосферной станции был назначен С.Н. Вернов, который работал по совместительству в ФИАН. Перед коллективом стратосферной станции ФИАН и лаборатории космических лучей НИИЯФ С.Н. Вернов поставил задачу – окончательно выяснить природу первичных космических лучей и механизм их взаимодействия с веществом. Разработали уникальные приборы, с помощью которых были изучены электронно-фотонная, мюонная и ядерно-активная компоненты космических лучей в стратосфере. Решив проблему ориентации подвешенных к шару-зонду приборов в заданном (восточном или западном) направлении, удалось впервые надежно измерить восточно-западную асимметрию потоков первичных космических лучей в районе геомагнитного экватора. В итоге был сделан окончательный вывод о составе космических лучей: космические лучи – это протоны и ядра других химических элементов.

Полеты шаров-зондов были осуществлены в 1949 г. с теплохода «Витязь» в Индийском океане. В работе этой экспедиции от НИИЯФ приняли участие Н.Л. Григоров и В.С. Мурзин, являвшийся тогда студентом. В написанной профессором В.С. Мурзиным статье «Воспоминания о С.Н. Вернове» [11] содержится подробное описание идеи эксперимента, аппаратуры, полученных результатов и особенностей проведения 2-й советской экваториальной экспедиции. Много интересных подробностей о тайном рейсе «Витязя» содержится также в статье О.А. Кузнецова [12].

Анализ данных стратосферных экспериментов, выполненных в 1945–1949 гг., позволил С.Н. Вернову определить основные характеристики взаимодействия протонов с ядрами атомов воздуха, открыть новый механизм генерации электронно-фотонной компоненты и установить, что нуклон при неупругом взаимодействии сохраняет значительную долю своей первоначальной энергии. За экспериментальные исследования космических лучей в верхних слоях атмосферы Сергею Николаевичу Вернову в 1949 г. присуж-

го центрального полигона вблизи городка Капустин Яр на Волге был осуществлен удачный запуск баллистической ракеты с установленной аппаратурой С.Н. Вернова. Вернову с сотрудниками удалось впервые измерить, как изменяется с высотой интенсивность космических лучей за пределами атмосферы. В течение 1947–1951 гг. состоялись десятки успешных запусков ракет с новой более совершенной аппаратурой. Результаты исследований: обнаружение постоянства интенсивности космических лучей на высотах 50–100 км, определение интенсивности γ -квантов на таких высотах, измерение ионизирующей способности первичных космических лучей и др. Отдельно следует сказать о попытке выяснения механизма образования электронно-фотонной компоненты первичными протонами, что, как уже отмечалось выше, особо интересовало Сергея Николаевича в то время. Для обнаружения электронно-фотонной компоненты использовался переходный эффект в полости с тонкой свинцовой оболочкой. В отличие от условий в стратосфере наблюдавшаяся в ракетном эксперименте электронно-фотонная компонента генерировалась не в воздухе, а в плотном веществе, что позволило С.Н. Вернову уже после первого ракетного эксперимента в 1947 г. сделать вывод о том, что время жизни частиц, распадающихся на электроны или фотоны, должно быть меньше 10^{-9} с. Если вспомнить, что это был год открытия η^{\pm} -мезонов, а до открытия η^0 на ускорителе оставалось еще четыре года, то можно еще раз удивиться научной интуиции С.Н. Вернова [5].

По независящим от Сергея Николаевича причинам результаты ракетных исследований не могли быть в свое время опубликованы. Лишь в 1958 г. они были кратко доложены на II Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве [5], а 1 августа 1958 г. в газете «Правда» была напечатана редакционная статья, в которой сообщалось о первых экспериментах, проведенных в СССР, по исследованию космических лучей за пределами атмосферы под руководством С.Н. Вернова. Выдержки из этой статьи и интересные подробности проведения исследований содержатся в [14].

С.Н. Вернов очень ценил дружбу с С.П. Королевым, начавшуюся в 1947 г. Автору настоящей статьи Вернов рассказывал о выдающихся качествах С.П. Королева как конструктора и ученого, организатора, об его умении в нужных случаях брать целиком ответственность на себя. С.Н. Вернов рассказывал, что он как-то возвращался с полигона в Москву в одном самолете с С.П. Королевым. Вблизи Москвы пилот получает сообщение, что по погодным условиям посадка на аэродроме в Чкаловске невозможна, и докладывает С.П. Королеву, что посадка будет на запасном аэродроме вдали от Москвы. С.П. Королев заявляет, что такая задержка с прибытием в Москву для него невозможна, и решает сам посадить самолет. После успешной посадки, как образно рассказывал С.Н. Вернов, С.П. Королев гордо оглядел всех участников перелета и спросил: «Ну как, у всех все в порядке?» Ракет-

ные эксперименты в Капустином Яре стали предвестником экспериментов, проведенных С.Н. Верновым и его учениками на космических ракетах.

В эти же годы, а точнее, с 1947 г. по инициативе Д.В. Скобелыцына и С.Н. Вернова в СССР стали организовывать сеть наземных станций для непрерывной регистрации космических лучей. Это было необходимо для выяснения тех условий в космическом пространстве, при которых становится возможным ускорение протонов и ядер до гигантских энергий.

Выдающиеся научные результаты, полученные С.Н. Верновым, нашедшие признание в СССР и за рубежом, его плодотворная научно-организаторская деятельность в масштабах страны были отмечены избранием его в 1953 г. членом-корреспондентом АН СССР.

1 сентября 1953 г. состоялось торжественное начало занятий студентов в новых зданиях факультетов на Ленинских горах. На физическом факультете уже более четырех лет работало созданное на базе кафедры строения вещества Отделение строения вещества в составе пяти кафедр. С 1949 г. кафедрой космических лучей заведовал С.Н. Вернов. Другими кафедрами заведовали В.И. Векслер, И.М. Франк, Л.В. Грошев и Д.В. Скобелыцын, который одновременно был заведующим отделением.

Существенное расширение площадей для учебных и научных подразделений института, строительство во исполнение специального постановления правительства двух специализированных корпусов для лаборатории ядерных реакций (19-й корпус МГУ) и космических лучей (20-й корпус МГУ) позволило коллективу института расширить экспериментальную базу для научных исследований. Так, в 1953 г. по инициативе С.Н. Вернова была начата разработка установки для исследования широких атмосферных ливней (ШАЛ). Эта установка состояла из комплекса аппаратуры в 20-м корпусе МГУ, а также в 13 передвижных лабораториях-фургонах, расположенных на относительно большом удалении от него. Благодаря большим размерам установки с ее помощью удалось регистрировать ШАЛ, вызванные космическими лучами сверхвысоких энергий ($5 \cdot 10^{14} - 10^{17}$ эВ). Одним из первых результатов, полученных на этой установке, было измерение энергетического спектра первичных космических лучей в указанном выше диапазоне. Экспериментально была установлена неизвестная ранее закономерность. При энергии $E = 10^{15}$ эВ в энергетическом спектре зарегистрирован излом. Показатель степени γ интегрального спектра при энергиях $E < 10^{15}$ эВ оказался равным 1,7, а при $E > 10^{15}$ эВ γ увеличивался до значения 2,3. Этот результат был зарегистрирован как открытие. Его авторы – С.Н. Вернов, Г.Б. Христиансен, Г.В. Куликов, В.И. Соловьева, А.Т. Абросимов, Б.А. Хренов.

В 1956 г. произошло событие, которое на многие годы вперед определило основные направления научных исследований С.Н. Вернова и его учеников. Я хорошо запомнил тот день, когда Д.В. Скобелыцын, войдя в свой

кабинет (в это время в его кабинете были С.Н. Вернов и я), сказал: «Я задержался с приездом в институт из-за того, что был на закрытом заседании Президиума АН СССР, на котором утверждался список институтов АН СССР, которые будут принимать участие в научных экспериментах с использованием искусственных спутников Земли. Я предложил включить в этот список наш институт, а тебя, Сергей Николаевич, назначить научным руководителем работ по исследованию космических лучей на спутниках». Замечу, что Д.В. Скобельцын своим единоличным решением, по сути дела, определил для нашего института новое направление деятельности, давшее под руководством С.Н. Вернова исключительно важные научные и прикладные результаты.

Через несколько дней после этой беседы в институте произошли первые перемены. В помещениях первого отдела института была выделена отдельная комната, в которой стали работать Ю.И. Логачев и А.Е. Чудаков (над созданием научной аппаратуры для спутников). (Очень интересный рассказ о становлении космофизики в НИИЯФ содержится в статье [15]).

В силу секретности даты запуска первого спутника готовые к запуску приборы, разработанные под руководством С.Н. Вернова, не были установлены на спутнике. После 4 октября С.Н. Вернов добывается у С.П. Королева установки на уже укомплектованном втором ИСЗ двух приборов с газоразрядными счетчиками для регистрации космических лучей. 3 ноября 1957 г. был запущен второй ИСЗ, на котором работали приборы НИИЯФ. Они обеспечили первые измерения космических лучей. С помощью новой аппаратуры, установленной на третьем советском ИСЗ (запуск 15 мая 1958 г.), был впервые обнаружен внешний радиационный пояс Земли. Открытие зафиксировано в Государственном реестре (авторы открытия – С.Н. Вернов, А.Е. Чудаков, Ю.И. Логачев, Е.В. Горчаков, П.В. Вакулов). В 1959 г. аппаратуру НИИЯФ устанавливали на ракете, осуществившей первое в мире соприкосновение аппаратуры с Луной. В 1960 г. за открытие и исследование внешнего радиационного пояса Земли и исследование магнитного поля Земли и Луны С.Н. Вернову, А.Е. Чудакову и др. была присуждена Ленинская премия (рис. 4).

В 1960 г. Д.В. Скобельцын передает руководство институтом и отделением ядерной физики физфака МГУ С.Н. Вернову. Как известно, после смерти в 1951 г. С.И. Вавилова – Президента АН СССР и директора ФИАН – Д.В. Скобельцын назначается директором ФИАН и по совместительству директором НИИЯФ МГУ. В конце 1950-х гг. в Правительстве СССР рассматривается вопрос о необходимости запрета совместительства в научных и учебных заведениях. Не дожидаясь подписания соответствующего постановления, Д.В. Скобельцын принимает решение, о котором сказано выше. Одновременно С.Н. Вернов передает руководство Долгопрудненской стратосферной станцией А.Н. Чарахьяну.

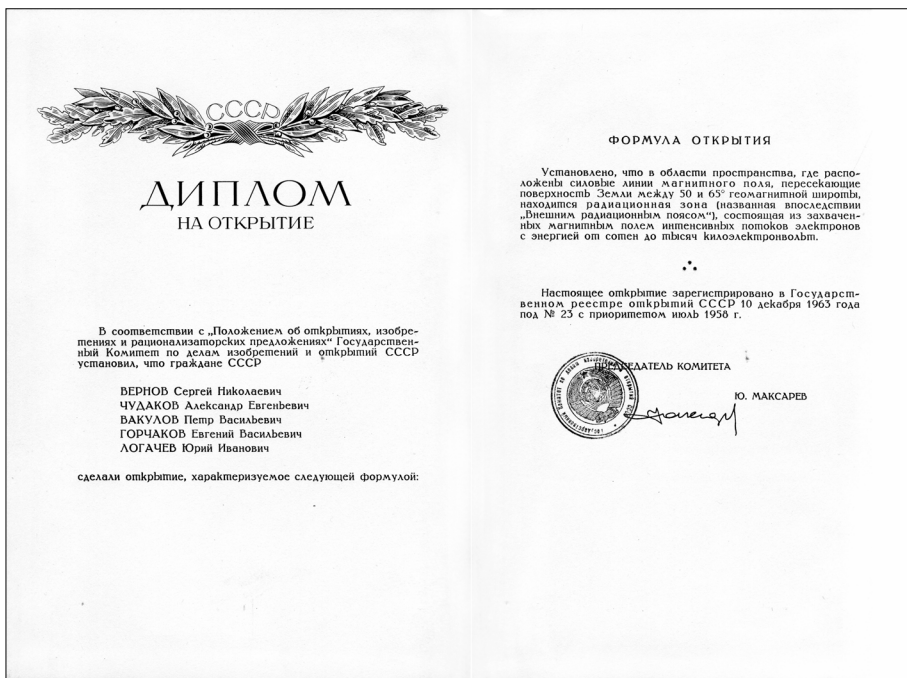


Рис. 4. Диплом на открытие внешнего радиационного пояса Земли и диплом лауреата Ленинской премии

В 1956 г. в Дубне был создан Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ). По инициативе директора ОИЯИ Д.И. Блохинцева, поддержанной Д.В. Скобельцыным и С.Н. Верновым, начались работы по созданию в Дубне филиала НИИЯФ. В конце 1960 г. филиал был открыт. Все заботы, связанные с организацией работы двух учебных кафедр в Дубне в рамках Отделения ядерной физики физфака МГУ, легли на плечи С.Н. Вернова.

После получения первых данных о радиационных поясах Земли Вернов приступил к планомерному исследованию структуры внешнего и внутреннего радиационных поясов, пространственного распределения в них частиц разных энергий, вариаций потоков частиц, связанных с различными геомагнитными эффектами. Для решения этих задач С.Н. Вернов добился запуска специальных спутников, получивших название «Электрон». Детальные исследования, выполненные под руководством С.Н. Вернова на ИСЗ серии «Электрон», а затем и серии «Космос», привели к выяснению структуры и динамики радиационных поясов Земли, обнаружению нового явления, впоследствии зарегистрированного как открытие, стока частиц радиационных поясов в районах планетарных магнитных аномалий в Южной Атлантике (авторы открытия от НИИЯФ – С.Н. Вернов, И.А. Савенко, П.И. Шаврин).

По инициативе С.Н. Вернова и под его непосредственным руководством был проведен большой цикл дозиметрических измерений в космическом пространстве, положивших начало новой ветви науки – космической радиометрии. Под его руководством также были проведены работы по изучению поведения материалов в условиях космического пространства. Эти работы, имеющие исключительно важное практическое значение, лежат в основе нового научного направления – космического материаловедения.

Созданная С.Н. Верновым в институте группа космического материаловедения провела обширные исследования воздействия на различные материалы и элементы космической техники радиации, глубокого вакуума, ультрафиолетового и рентгеновского излучений, микрометеоритов. Все эти сведения стали публиковаться в специализированных изданиях НИИЯФ МГУ «Модель космического пространства» (главный редактор С.Н. Вернов). Первое издание – 1964 г., седьмое – 1983 г.

Под эгидой С.Н. Вернова были проведены эксперименты на спутниках «Протон» (1965–1968), регистрировавшие первичные космические лучи высокой энергии. Полученный результат по спектрам протонов и других ядер вплоть до энергий 10^{14} эВ на спутниках до сих пор никем не удалось повторить.

В ноябре 1968 г. С.Н. Вернов избирается действительным членом Академии наук СССР.

В 1970 г. С.Н. Вернову исполняется 60 лет. За выдающиеся заслуги в развитии советской науки и в связи с юбилеем С.Н. Вернов награждается вторым орденом Ленина. Московский государственный университет и Отделение ядерной физики АН СССР 28 октября 1970 г. в актовом зале МГУ организуют чествование юбиляра. В своем ответном слове С.Н. Вернов отметил роль коллектива НИИЯФ в достижении высоких научных и учебных показателей в работе, роль основателя института академика Д.В. Скобельцына, связь НИИЯФ с большим числом научных и учебных заведений страны. Ответное слово Сергея Николаевича опубликовано в сборнике «Воспоминания об академиках Д.В. Скобельцыне и С.Н. Вернове» [16].

Оценка С.Н. Верновым достижений в учебной и научной деятельности института за 25 лет дана в его докладе, сделанном на торжественном заседании, посвященном 25-летию института, в феврале 1971 г. [17].

На этих крупных научных форумах всеми выступавшими было подчеркнуто, что С.Н. Вернов – создатель и руководитель одной из крупнейших школ мира, в которой ведутся интенсивные экспериментальные и теоретические исследования по всем основным вопросам физики космических лучей и космофизики.

В период с 1968 по 1982 гг. С.Н. Вернов, несмотря на возникшие в стране трудности, продолжает развивать космические исследования. Под его руководством проводятся исследования с использованием спутников «Прогноз», «Интеркосмос», межпланетных автоматических станций «Венера» и «Марс». Существенно развиваются исследования ШАЛ на установке МГУ. По инициативе С.Н. Вернова для изучения спектра космических частиц до энергий 10^{20} эВ создана Якутская установка ШАЛ. Он оказал большую поддержку в создании установки ШАЛ в Самарканде. Самаркандский эксперимент подтвердил наличие излома в спектре первичного космического излучения, открытого в НИИЯФ МГУ. С.Н. Вернов организует работу с рентгено-эмульсионными камерами (РЭК) под землей (в Московском метро) для измерений энергетического спектра мюонов космических лучей вплоть до энергий $3 \cdot 10^{12}$ эВ; в совместных с ФИАН экспериментах на Памире с помощью РЭК изучались ядерные взаимодействия, вызванные частицами с энергией 10^{16} – 10^{18} эВ.

В 1980 г. за большие заслуги в развитии физической науки, подготовке научных кадров и в связи с 70-летием со дня рождения Президиум Верховного Совета СССР присвоил С.Н. Вернову звание Героя Социалистического Труда (рис. 5) с вручением ордена Ленина и золотой медали «Серп и Молот». В связи с этим замечательным событием Сергея Николаевича в его кабинете поздравили коллеги, сподвижники, ученики, сотрудники НИИЯФ МГУ, а также сотрудники большого числа академических и ведомственных институтов, летчики-космонавты, военные, профессора и преподаватели

ПРЕЗИДИУМ ВЕРХОВНОГО СОВЕТА СССР
ПРЕЗИДИУМ ВЕРХОВНАГО САВЕТА СССР
СССР ОЛКЕСОВЕТНИКИ ПРЕЗИДИУМ
СССР МОЛАТ МОЛОТ МОЛОТ МОЛОТ
СССР МОЛАТ МОЛОТ МОЛОТ МОЛОТ

ГЕРОЮ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОГО ТРУДА

Тов. ВЕРНОВУ
Сергею Николаевичу

За большие заслуги в развитии
физической науки, подготовке
научных кадров и в связи с семи-
десятилетием со дня рождения
ПРЕЗИДИУМ ВЕРХОВНОГО СОВЕТА СССР
УКАЗОМ от 10 июля 1980 г. ПРИСВОИЛ ВАМ
ЗВАНИЕ Героя Социалистического Труда
с вручением ордена ЛЕНИНА и ЗОЛОТОЙ
МЕДАЛИ „СЕРП И МОЛОТ“.

Ю. Орешкин
Медведев

ПОДПИСАТЕЛЬ ПРЕЗИДИУМА ВЕРХОВНОГО СОВЕТА СССР
СЕКРЕТАРЬ ПРЕЗИДИУМА ВЕРХОВНОГО СОВЕТА СССР

Москва, Кремль, 10 июля 1980 г.

Рис. 5. Указ о присвоении С.Н. Вернова звания
Героя Социалистического Труда

С.Н. Вернов успешно сочетал плодотворную научную деятельность с научно-организационной работой, являясь заместителем академика-секретаря Отделения ядерной физики АН СССР, председателем Научного совета по комплексной проблеме «Космические лучи», председателем секции ядерной физики НТС МВССО СССР, членом редколлегии журналов «Ядерная физика», «Геомагнетизм и аэрономия», «Вестник Московского университета» (серия «Физика»), членом ряда ученых и научных советов.

С.Н. Вернов выполнял большую общественную работу в обществе «Знание», с 1962 г. возглавлял Московский городской и областной комитеты защиты мира, с 1965 г. был членом президиума Советского комитета защиты мира.

С.Н. Вернов очень большое внимание уделял повышению эффективности работы руководимого им института. Он считал, что продуктивная деятельность большого коллектива научных сотрудников в современных научно-исследовательских институтах зависит от многих факторов, в том числе от умелой и своевременной постановки научных задач, правильного планирования научных исследований, эффективности расстановки кадров, эффективного проведения экспериментальных исследований, правильной организации обработки полученных результатов, быстрого внедрения результатов

научной работы. Он учил искать новые направления исследований. С.Н. Вернов отмечал, что на полях научных исследований почва перерыта на большую глубину и отыскать новые направления не так-то просто, поэтому смелому поиску нужно придавать в институте самое серьезное значение. Он считал, что разработкой проблемы должен руководить достаточно опытный и эрудированный научный работник, что надо всячески развивать и поощрять научную инициативу молодых научных работников, ссылаясь на пример Резерфорда, который важнейшим качеством ученого считал его научную инициативу. Специалиста, который через 2–3 года работы не находил своей собственной линии исследования, Резерфорд считал непригодным для научной работы. С.Н. Вернов знал, что фактором, сковывающим инициативу молодого научного сотрудника, является узкая специализация, которая обесценивает всю подготовку, полученную в вузе, резко сокращает круг его интересов и в конце концов превращает его в квалифицированного препаратора. Для недопущения такой ситуации С.Н. Вернов большое значение придавал участию молодых специалистов в работе научных семинаров.

С.Н. Вернов всегда с большим вниманием относился к организации работы семинаров. Ряд созданных им семинаров стали общемосковскими и все-союзными. Участники этих семинаров с полным основанием считают себя учениками Вернова. Очень интересные подробности об этой стороне деятельности С.Н. Вернова содержатся в воспоминаниях его учеников (см. [5, 11, 15, 18–22]). Академик Г.Б. Христиансен в [23] дал краткий, но исключительно точный и яркий портрет С.Н. Вернова.

Сергей Николаевич Вернов был одним из учителей в моей жизни. Я так хорошо помню этого необыкновенно энергичного, подвижного и жизнерадостного человека, что в любой момент и в любой ситуации, закрыв глаза, могу себе представить его живое возбужденное лицо, пронизательный взгляд и изящное напряженное тело, готовое к любой смене событий.

Добавим, что Сергей Николаевич был счастлив и тогда, когда ему удавалось оказать помощь сотрудникам института и ОЯФ в улучшении жилищных условий. Для решения жилищных вопросов С.Н. Вернов вынужден был проводить переговоры с крупными городскими деятелями. Для таких визитов он надевал парадный костюм с прикрепленными на пиджаке орденами и медалями и всегда добивался положительного решения жилищных вопросов для сотрудников.

С.Н. Вернов был удостоен звания Социалистического Труда, трех орденов Ленина, ордена Октябрьской революции, двух орденов Трудового Красного Знамени, ордена «Знак Почета», званий лауреата Ленинской и Государственной премий, многочисленных медалей.

Сергей Николаевич Вернов скончался 26 сентября 1982 г. и похоронен на Новодевичьем кладбище.

Для увековечивания памяти о С.Н. Вернове у входа в здание НИИЯФ на Ленинских горах, где с 1953 по 1982 гг. он работал, установлена памятная доска, аудитория 5-18 физфака названа именем С.Н. Вернова, выдающиеся студенты физфака МГУ награждаются стипендией его имени, в НИИЯФ МГУ регулярно проводится конкурс научных работ молодых ученых имени С.Н. Вернова. Одна из улиц в г. Дубне Московской области носит имя С.Н. Вернова.

Литература

1. Вернова Е.С., Вернов Ю.С., Мнацаканова М.Н. Семейные воспоминания. В кн.: Академик С.Н. Вернов – ученый Московского университета. – М.: УНЦ ДО, 2004, с. 97–115.
2. Вернов С.Н. Д.В. Скобельцын как руководитель школы физиков и основатель НИИЯФ МГУ (из научного архива С.Н. Вернова). В кн.: Воспоминания об академике Д.В. Скобельцыне и С.Н. Вернове. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995, с. 42–44.
3. Сисакян А.Н. Штрихи к портрету Сергея Николаевича Вернова. В кн.: Академик С.Н. Вернов – ученый Московского университета. – М.: УНЦ ДО, 2004, с. 116–122.
4. Иванова Н.С. Это был настоящий друг. В кн.: Академик С.Н. Вернов – ученый Московского университета. – М.: УНЦ ДО, 2004, с. 89–96.
5. Теплов И.Б., Чудаков А.Е. Сергей Николаевич Вернов. В кн.: Проблемы физики космических лучей. – М.: Наука. 1987, с. 3–14.
6. Полет автоматического стратостата. В кн.: Сергей Николаевич Вернов – ученый, педагог и популяризатор науки (к 90-летию со дня рождения, 1910–2000 г.г.). – М., 2000, с. 32.
7. Григоров Н.Л. Человек, преодолевающий все мыслимые и немыслимые препятствия. В кн.: Воспоминания об академике Д.В. Скобельцыне и С.Н. Вернове. – М.: Изд-во Моск. ун-та. 1995, с. 59–67.
8. Добротин Н.А. Краткая история первого периода экспериментальных работ по космическим лучам в физическом институте АН СССР. – М., 1998.
9. Вернов С.Н. С.И. Вавилов – руководитель штурма стратосферы и космоса. В кн.: Сергей Иванович Вавилов. Очерки и воспоминания. – М.: Наука, 1992, с. 264–268.
10. Панасюк М.И., Романовский Е.А., Кессених А.В. Начальный этап подготовки физиков-ядерщиков в Московском государственном университете (тридцатые–пятидесятые годы). В кн.: История советского атомного проекта. Выпуск 2. – С.-Пб.: Изд-во Русского Христианского гуманитарного института, 2002, с. 491–518.
11. Мурзин В.С. Воспоминания о С.Н. Вернове. В кн.: Воспоминания об академике Д.В. Скобельцыне и С.Н. Вернове. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995, с. 68–78.
12. Кузнецов О.А. Тайный рейс «Витязя». – Вестник РАН, 2004, т. 74, № 1, с. 68–70.
13. Григоров Н.Л. Исследования космических лучей в стратосфере. О работах лауреата Сталинской премии проф. С.Н. Вернова. – М.-Л.: Гостехиздат, 1950, с. 56.
14. Соловьева В.И. Первые эксперименты в космосе. В кн.: Сергей Николаевич Вернов ученый, педагог и популяризатор науки (к 90-летию со дня рождения, 1910–2000 г.г.). – М., 2000, с. 33–35.
15. Логачев Ю.И. С.Н. Вернов и начало космической эры. В кн.: Воспоминания об академике Д.В. Скобельцыне и С.Н. Вернове. Изд-во Моск. ун-та, 1995, с. 79–91.
16. Вернов С.Н. Характерный почерк школы Д.В. Скобельцына. В кн.: Воспоминания об академике Д.В. Скобельцыне и С.Н. Вернове. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995, с. 45–47.

17. Доклад директора НИИЯФ и заведующего ОЯФ физического факультета МГУ академика С.Н. Вернова на торжественном заседании, посвященном 25-летию института. В кн.: Доклады директоров института о научной и учебной деятельности. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997, с. 18–26.
18. Горчаков Е.В. Сергей Николаевич Вернов и космические исследования в НИИЯФ МГУ. В кн.: Воспоминания об академике Д.В. Скобельцыне и С.Н. Вернове. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995, с. 92–95.
19. Любимов Г.П. Сергей Николаевич Вернов и его космофизическая школа. В кн.: Воспоминания об академике Д.В. Скобельцыне и С.Н. Вернове. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995, с. 96–106.
20. Акишин А.И. С.Н. Вернов и проблемы воздействия космической среды на материалы. В кн.: Воспоминания об академике Д.В. Скобельцыне и С.Н. Вернове. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995, с. 107–111.
21. Логачев Ю.И., Панасюк М.И., Стожков Ю.И. Сергей Николаевич Вернов и космические лучи. В кн.: Академик С.Н. Вернов – ученый Московского университета. – М.: УНЦ ДО, 2004, с. 11–45.
22. Любимов Г.П. Сергей Николаевич Вернов – ученый, руководитель, организатор и космическая физика. В кн.: Академик С.Н. Вернов – ученый Московского университета. М.: УНЦ ДО, 2004, с. 65–78.
23. Христиансен Г.Б. Выдающийся дирижер научных исследований. В кн.: Воспоминания об академике Д.В. Скобельцыне и С.Н. Вернове. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995, с. 112–113.

ЧАСТЬ I

СТАТЬИ ПО СОВРЕМЕННЫМ ВОПРОСАМ КОСМОФИЗИКИ

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ В МГУ

М.И. Панасюк

НИИ ядерной физики МГУ

Введение

Космическая физика – наука, изучающая электромагнитные и радиационные поля в межпланетном космическом пространстве и вблизи планет, процессы ускорения и источники корпускулярного излучения и плазмы в космическом пространстве, а также влияние солнечных излучений на околопланетные пространства и физические процессы на самих планетах. Поскольку объектом ее изучения являются физические процессы во Вселенной, космическую физику можно рассматривать как одно из направлений астрофизики.

У истоков космической физики стояли два выдающихся ученых – Сергей Николаевич Вернов и Джеймс Ван Аллен – специалисты в области физики космических лучей. Еще в «доспутниковую эру» они осуществляли свои эксперименты по изучению космических частиц на земле, шарах-зондах и ракетах. С появлением возможности проведения экспериментов в космосе они независимо друг от друга и практически одновременно предложили установить свои приборы на первых спутниках. Возникновение космической физики как отдельного направления в науке связано, безусловно, с запуском первых спутников в Советском Союзе и США. Однако ее основы и у нас и в США были заложены задолго до первого искусственного спутника Земли, запущенного в Советском Союзе 4 октября 1957 г.

Ниже кратко будут описаны основные этапы развития космической физики в НИИ ядерной физики Московского государственного университета (НИИЯФ МГУ), руководителем которого с 1960 по 1982 гг. был академик С.Н. Вернов.

1. От шаров-зондов к первым экспериментам в космосе

В середине 1930-х годов С.Н. Вернов (рис. 1) предложил использовать шары-зонды для дистанционного изучения космических лучей в стратосфере. Эти эксперименты были первыми в нашей стране по исследованию процессов взаимодействия первичных космических лучей с атмосферой Земли. Они проводились с помощью ионизационных камер, установленных на шарах-зондах. Их результатом стало доказательство существования электронно-ядерного ливня вторичных частиц космических лучей, рождающихся в атмосфере (С.Н. Вернов и др., 1949).

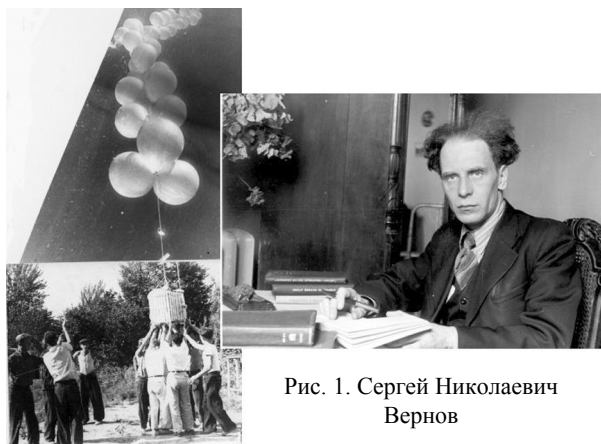


Рис. 1. Сергей Николаевич Вернов

Однако до конца 1940-х годов природа самого первичного космического излучения оставалась невыясненной. И здесь стратосферные исследования лучей (они проводились на судне «Витязь» в 1949 г.) сыграли выдающуюся роль. С помощью оригинального прибора на основе счетчиков

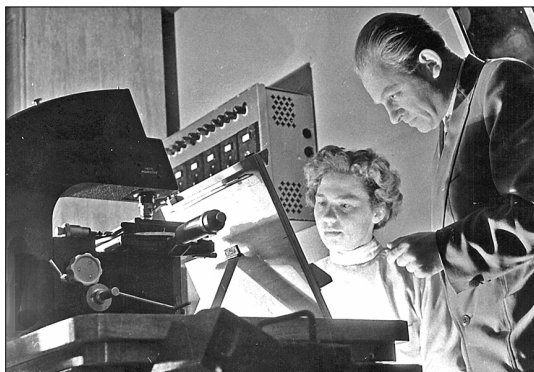


Рис. 2. Наум Леонидович Григоров

Гейгера, разработанного под руководством Н.Л. Григорова (рис. 2), сотрудника НИИЯФ МГУ, был выполнен ряд экспериментов, которые способствовали выяснению природы первичного космического излучения. Было обнаружено, что основная компонента космических лучей в окрестности нашей планеты — протоны.

Другой важной проблемой изучения природы первичных космических лучей в те годы было определение их энергии. Идею метода измерения энергии космических лучей подсказал сам процесс взаимодействия первичных частиц с атмосферой и рождения ими каскада вторичных частиц, открытый Д.В. Скобельцыным в 1936 г. (рис. 3). Эту идею реализовали Н.Л. Григоров, В.С. Мурзин и И.Д. Рапопорт в 1958 г., создав ионизационный калориметр. Калориметр сыграл революционную роль не только в физике космических лучей, но впоследствии и в физике высоких энергий.

Применение ионизационного калориметра началось с отечественных исследований космических лучей в горах Кавказа и Памира. Уже первые эксперименты на горе Арагац в Армении дали оценки спектра одиночных адронов в области энергий 1–10 ТэВ и показателя их интегрального спектра. Возможность создания установок большой светосилы с использованием метода ионизационного калориметра открыла широкие возможности исследования природы первичных космических лучей. Однако для этого подобные установки необходимо было запускать на такие высоты, где влияние атмосферы уже не может сказываться на изменении состава и энергетического спектра первичных частиц. Эти возможности появились позже, с началом космической эры и развитием техники высотных аэростатов и ракет. В 1946 г. С.Н. Вернов с А.Е. Чудаковым начинают исследовать состав космических лучей на ракетах на полигоне Капустин Яр.

Итак, «доспутниковый» период исследования космических лучей привел к пониманию природы вторичной компоненты, рождающейся в атмосфере, определению основной первичной компоненты космических лучей – протонов, а также к первым оценкам формы спектра первичного космического излучения. Эти результаты были получены в основном с помощью ионизационных камер, счетчиков Гейгера–Мюллера, фотоэмульсий и ионизационных калориметров. Именно эти детекторы составляли экспериментальную базу ученых до запуска первых спутников.

Программа запуска уже первых спутников предполагала проведение научных экспериментов на их борту. Ученые-космики, в отличие от других специалистов, были, пожалуй, наиболее подготовлены к началу исследований в космическом пространстве. Во-первых, у них была строго обоснованная научная идея – необходимость продолжения изучения космических



Рис. 3. Дмитрий Владимирович Скобельцын

лучей за пределами атмосферы с целью выяснения их природы, энергии и состава потоков частиц. Во-вторых, имелась разработанная и отработанная в наземных условиях и в стратосферных исследованиях экспериментальная аппаратура.

Постановка первого космического эксперимента оказалась возможной на 2-м спутнике, запущенном в ноябре 1957 г. Ограниченные возможности по весам и габаритам позволили установить на его борту лишь газоразрядные счетчики Гейгера–Мюллера. Аналогичным путем пошли и американские ученые: на борту первого американского спутника «Explorer-1» также были установлены такие же счетчики. Более масштабный эксперимент с применением различных типов детекторов был осуществлен позднее, на 3-м советском искусственном спутнике Земли.

Результаты, полученные на первых спутниках, были неожиданными. Уже в 1958 г. они привели к первому выдающемуся открытию в космосе – обнаружению радиационных поясов Земли. По сути, оказалось, что ученые, ставя перед собой целью продолжение исследований космических лучей за пределами атмосферы, столкнулись с новым природным феноменом – захватом и ускорением частиц в магнитном поле Земли.

2. Первое открытие в космосе – радиационные пояса Земли

Путь к этому открытию был краток и драматичен. Первый прибор для изучения космических излучений КС-5 на основе газоразрядного счетчика Гейгера–Мюллера, разработанный под руководством С.Н. Вернова, был установлен на 2-м советском искусственном спутнике Земли (рис. 4).



Рис. 4. С.Н. Вернов (слева) и научные приборы на втором ИСЗ в 1957 г.

Дж. Ван Аллен разместил аналогичный прибор на американском спутнике «Explorer-1». В ноябре 1957 г. в Советском Союзе и в январе–феврале 1958 г. в США была получена первая научная информация с околоземных орбит. Обе группы столкнулись с абсолютно новым феноменом природы – заряженными частицами, захваченными в магнитном поле Земли. Однако следует отметить, что ни С.Н. Вернов, ни Дж. Ван Аллен со своими сотрудниками не смогли на основе первых экспериментов дать правильную физическую интерпретацию наблюдаемого явления. Тем не менее к середине 1958 г., т. е. спустя всего несколько месяцев после начала космических экспериментов, понимание физики нового явления стало более ясным.

В создании этого прибора и проведении эксперимента принимали активное участие С.Н. Вернов, А.Е. Чудаков, Н.Л. Григоров, Ю.И. Логачев и Ю.Г. Шафер.

Существенную и принципиальную роль для выяснения природы открытого феномена сыграл эксперимент именно на 3-м советском спутнике, запущенном 15 мая 1958 г. В составе довольно разнообразной аппаратуры НИИЯФ МГУ на этом спутнике был сцинтилляционный детектор. Информация этого детектора позволила установить существование двух пространственно разделенных областей в околоземном космосе – внешнего электронного пояса, заполненного электронами с энергией ~ 100 кэВ и выше, и внутреннего, протонного. Энергия протонов внутреннего пояса была существенно выше (~ 100 МэВ), чем электронов во внешнем. Помимо этого, была обнаружена высотная зависимость потоков, свидетельствующая о захвате частиц в магнитной ловушке (рис. 5).

Американские ученые не могли регистрировать частицы внешней зоны радиации из-за особенностей орбит своих спутников. Сейчас очевидно, что первые советские и американские эксперименты в космосе взаимно дополняли друг друга. Однако в силу специфики международных отношений той эпохи говорить о международной кооперации не приходилось, и космическая физика рождалась в условиях острой конкурентной борьбы между учеными двух супердержав.

К середине 1958 г. стала очевидной суть первого открытия, сделанного с помощью первых космических аппаратов. Пояса радиации, окружающие

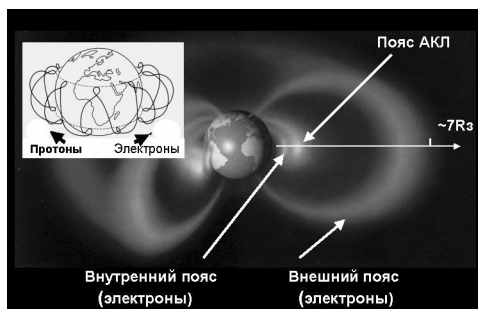


Рис. 5. Радиационные пояса Земли. Показаны внутренний и внешний электронные пояса Земли, а также пояс, образованный аномальной компонентой космических лучей

Землю, как оказалось, состоят из протонов и электронов в широком диапазоне энергий. Расчеты показывали, что это стабильное образование: времена жизни частиц во внутреннем поясе могли достигать десятков лет. Предстояло понять природу этих частиц – их источники и механизмы ускорения. На это ушли последующие 20–30 лет. Однако первая модель, предлагавшая механизм образования радиационных поясов, появилась практически сразу после их открытия. Это механизм образования вторичных энергичных протонов при распаде нейтронов альbedo, возникающих при взаимодействии первичных космических лучей с атмосферой. Авторами этой модели были ученые НИИЯФ МГУ С.Н. Вернов и А.И. Лебединский (1958). Интересно заметить, что практически одновременно и независимо этот механизм формирования внутреннего радиационного пояса предложил американец Ф. Зингер (F. Singer).

Механизм распада нейтронов альbedo позволил объяснить существование протонов высокой энергии (и, как оказалось впоследствии, электронов) во внутреннем поясе вблизи Земли в ограниченном интервале энергий, определяемом энергией альбедных нейтронов. Предстояло определить механизмы заполнения частицами и внешней зоны радиации.

Итак, начало космических исследований в космосе привело к первому выдающемуся результату в области физики околоземного пространства –

открытию радиационных поясов и, по сути, дало начало новой науке – космической физике.

Этот этап отечественных исследований радиационных поясов завершился полетами автоматических станций к Луне. С помощью установленной на них аппаратуры института удалось получить полную пространственную картину радиационных поясов (рис. 6). Кроме того, были также обнаружены временные изменения внешней зоны радиации, предопределившие в дальнейшем одно из обширных направлений физики радиационных

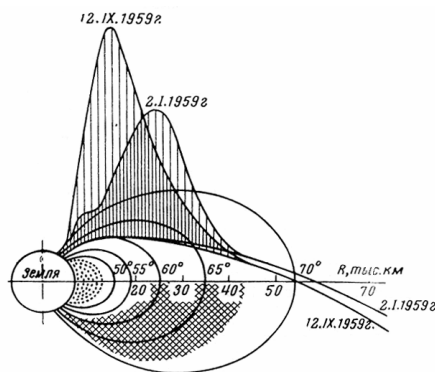


Рис. 6. Структура радиационных поясов по данным зонда «Луна-2»

поясов – изучение их динамики в зависимости от солнечной и геомагнитной активности.

1957 год можно считать точкой отсчета для космической физики как нового направления научных исследований в НИИЯФ МГУ. Впоследствии оно стало одним из основных и принесло институту заслуженную известность в научном мире.

В этот период в институте начал формироваться коллектив ученых-космофизиков, у истоков которого стояли С.Н. Вернов, А.Е. Чудаков, П.В. Вакулов, Е.В. Горчаков, Н.Л. Григоров, А.И. Лебединский и Ю.И. Логачев. А уже к началу 1960-х годов благодаря усилиям С.Н. Вернова в институте были созданы два сильных научных коллектива – опытно-конструкторская лаборатория (ОКЛ), возглавляемая А.Г. Николаевым, и лаборатория космифизических исследований (ЛКФИ) под руководством И.А. Савенко.

После первых экспериментов в космосе начался этап систематического исследования радиационных поясов и магнитосферы Земли.

3. Структура радиационных поясов и модель радиальной диффузии

Первые исследования открытого природного феномена – радиационных поясов – показали существование в нем временных и пространственных вариаций потоков частиц. Возникали вопросы: какого типа эти вариации, насколько устойчивыми образованиями являются радиационные пояса и как изменяются их характеристики в зависимости от солнечной активности? Первые эксперименты проводились в максимуме цикла солнечной активности, поэтому вопрос об их стабильности в течение всего цикла оставался открытым.

Спутники серии «Электрон», запущенные в 1964 г. с установленной на их борту научной аппаратурой НИИЯФ МГУ, сыграли большую роль в систематизации знаний о структуре и динамике захваченной радиации. Благодаря удачно выбранным орбитам этих спутников и составу размещенной на них аппаратуры была впервые изучена практически вся область радиационных поясов: энергетические и пространственные распределения протонов и электронов в широком диапазоне энергий, а также их временные вариации. Именно эти данные послужили основой при разработке отечественных моделей околоземной радиации, вошедших в ряд нормативных документов космической промышленности, а также в первое и последующие издания «Модели космоса» – сборника, издававшегося в течение многих лет под руководством С.Н. Вернова. Результаты, полученные на спутниках «Электрон», стали существенным вкладом отечественной космофизики в мировые знания о радиационных поясах Земли.

Итогом исследований радиационных поясов в 1960-х годах стало, пожалуй, окончательное понимание их структуры: оказалось, что пояса, по сути, представляют собой единое образование из захваченных в магнитное поле заряженных частиц (в основном протонов и электронов), имеющих очень широкий диапазон энергий – до нескольких МэВ для электронов и сотен МэВ для протонов. При этом верхняя граница энергии захваченных протонов совпадает с энергией галактических космических лучей в макси-

муме их интенсивности (т. е. порядка нескольких сотен МэВ). Различие в пространственной структуре протонных и электронных радиационных поясов состояло, по сути, в существовании зазора – локального понижения потоков частиц на расстоянии 2–3 радиусов Земли в экваториальной плоскости. С точки зрения теоретической модели (см. ниже) оказалось, что зазор – это область доминирования потерь для электронной компоненты. Однако помимо определения механизмов потерь частиц в поясах модель их формирования должна дать ответ на вопрос: каким образом захваченные частицы приобретают столь значительные энергии?

Первый механизм образования радиационных поясов за счет нейтронов альbedo космических лучей, предложенный С.Н. Верновым и А.И. Лебединским, мог объяснить существование только внутренней зоны захваченной радиации – протонов с энергиями в десятки МэВ и более и электронов до 1 МэВ. Вопрос об ускорителе всех остальных частиц – по сути, основной доли радиационных поясов, – оставался открытым.

Теоретическая модель, объясняющая практически всю пространственно-энергетическую структуру радиационных поясов, была создана к середине 1960-х годов. В основу ее был положен диффузионный механизм переноса частиц внутрь магнитного поля под действием флуктуаций электрических и магнитных полей в околоземном пространстве. Насколько продуктивен был этот подход, можно судить по тому, что радиальная диффузия частиц по сей день рассматривается в качестве основополагающего механизма для объяснения экспериментально наблюдаемых пространственных и энергетических распределений захваченных частиц внутри магнитной ловушки.

Радиальный перенос частиц вызывается флуктуациями электрических и магнитных полей в магнитосфере, а сами флуктуации – изменениями давления солнечного ветра. Частицы, перемещаясь в ловушке внутрь поперек силовых линий магнитного поля, увеличивают свою энергию посредством бетатронного механизма ускорения при сохранении магнитного момента частиц – первого адиабатического инварианта. Таким образом, частицы из хвоста магнитосферы, который может служить своеобразным резервуаром – накопителем частиц солнечного ветра, попадают внутрь магнитной ловушки, где в процессе переноса ускоряются.

Впервые идею диффузии частиц внутри магнитной ловушки при возмущениях магнитного поля типа внезапных импульсов высказал Е. Паркер (E. Parker). В дальнейшем этот механизм был развит в работах нескольких авторов. Среди этих работ модель, разработанная Б.А. Тверским (рис. 7), значительно отличалась от других. Она дала хорошее количественное согласие с экспериментом и позволила объяснить многие характеристики пространственно-энергетической структуры как протонных, так и электронных радиационных поясов. Существенным отличием модели Б.А. Тверского от других было утверждение о преимущественной реализации механизма ра-

диальной диффузии под действием *только* флуктуаций магнитного поля и правильной оценки коэффициента диффузии из анализа частоты и амплитуды возмущений магнитного поля типа внезапных импульсов. Первые публикации Б.А. Тверского на эту тему пришли на 1964–1965 годы, опередив публикации зарубежных авторов по количественным моделям радиальной диффузии частиц радиационных поясов, основной парадигмой которых являлось утверждение о совокупном действии как флуктуаций крупномасштабного электрического поля внутри магнитосферы, так и самого магнитного поля.

Важными экспериментальными доказательствами в пользу модели Б.А. Тверского послужили данные спутников «Электрон» (см. ниже). Пространственное распределение протонов разных энергий, полученные в эксперименте на этих и других спутниках, дали хорошее согласие с моделью Б.А. Тверского – радиальной диффузии частиц, возникающей при магнитных флуктуациях. Кроме того, параметры диффузионных волн электронов (радиальные смещения профиля потоков электронов к Земле после магнитных бурь), обнаруженные в экспериментах на спутниках «Электрон», согласовывались с коэффициентом магнитной диффузии, предложенной Б.А. Тверским. Тем не менее в ряде работ зарубежных авторов, опубликованных в эти годы, многие экспериментальные данные согласовывались и с моделью «симбиозного» воздействия флуктуаций как электрического, так и магнитного полей.

Противоречивая ситуация разрешилась к середине 1980-х годов, когда после проведения серии экспериментов в космосе с целевой направленностью изучения именно радиационных поясов, появилось достаточно много экспериментальных данных не только о протонах и электронах, но и о более тяжелых ионах.

Здесь следует упомянуть о долговременной программе исследований радиационных поясов на спутниках серии «Молния», инициатором которых был С.Н. Вернов. Эти эксперименты, осуществлявшиеся под руководством Э.Н. Сосновца в течение 1970-х годов, дали ряд новых результатов не только по структуре поясов, но и по их динамике. Эксперименты на спутниках «Молния» ознаменовали начало создания в НИИЯФ МГУ системы глобального радиационного мониторинга околоземного пространства, которая в дальнейшем получила развитие с использованием и других спутников – ГЛОНАСС, «Космос», «Горизонт» и др.

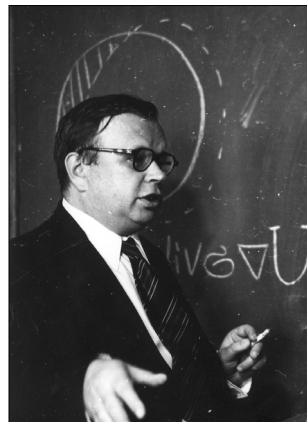


Рис. 7. Борис Аркадьевич
Тверской

В составе солнечного ветра наряду с протонами присутствуют гелий, углерод, кислород и более тяжелые элементы. Их относительные концентрации не превышают нескольких процентов (для гелия) и еще меньших значений для более тяжелых частиц. Несмотря на это, изучение тяжелых ионов имеет существенное значение для физики радиационных поясов, так как оно позволяет более углубленно провести тесты различных моделей формирования поясов радиации, чем анализ лишь протонной и электронной компонент. Это связано с тем, что коэффициенты переноса в моделях в общем виде могут зависеть как от энергии, так и от типа частицы (т. е. ее массы и заряда). В этом смысле тяжелые ионы – чрезвычайно полезный инструмент для верификации различных моделей. Кроме того, они – своеобразный индикатор источника частиц. Например, присутствие углерода или многозарядных тяжелых ионов служит достаточно убедительным доказательством в пользу солнечного ветра как источника захваченных частиц.

Проведение экспериментов стало возможным начиная с середины 1970-х годов. Первый эксперимент по изучению энергичных тяжелых ионов в радиационных поясах был осуществлен автором настоящей статьи с сотрудниками на спутнике «Молния-2». Этот эксперимент наряду с некоторыми другими позволил построить пространственно-энергетическую структуру экваториальных ионных поясов, которая и послужила тестом для проверки различных моделей радиальной диффузии. Все эти эксперименты наряду с зарубежными и составили базы данных о структуре радиационных поясов, позволившие установить границы применимости различных моделей радиальной диффузии.

Оказалось, что «магнитная диффузия» (перенос частиц под действием флуктуаций магнитного поля) с коэффициентом диффузии, предложенным Б.А. Тверским, действительно описывает большую часть пространственно-энергетической структуры радиационных поясов. Однако флуктуации магнитосферного электростатического поля также «принимают участие» в формировании поясов радиации. Тем не менее эффективность их воздействия ограничивается лишь малыми энергиями частиц (менее сотен кэВ) и, возможно, внутренней зоной радиации в области энергий более нескольких МэВ (М.И. Панасюк, 1984).

Таковы в основном были наши знания о радиационных поясах к середине 1980-х годов, имеющие свою актуальность и по сей день. Напомним их важнейшие моменты.

1. Радиационные пояса состоят из электронов и протонов (основные компоненты) с относительно небольшой «добавкой» тяжелых ионов.

2. Механизмами их формирования являются радиальная диффузия под действием флуктуаций как магнитных, так и электрических полей в магнитосфере и распад нейтронов альбеда космических лучей. Магнитная диффузия играет доминирующую роль в радиальном переносе частиц. Распад ней-

тронов альbedo обеспечивает заполнение высокоэнергичными протонами внутренней зоны захваченной радиации.

3. Источниками частиц радиационных поясов являются космические лучи (внутренняя зона радиации) и плазма солнечного ветра, инжектируемая из хвоста магнитосферы внутрь области захвата.

Существенный прогресс в понимание структуры радиационных поясов Земли внесли работы С.Н. Кузнецова и В.Д. Ильина, связанные с количественной оценкой предела адиабатического движения частиц в геомагнитном поле согласно критерию Альвена. В них был выявлен механизм формирования внешних границ захваченных частиц в ловушке не только в спокойные, но и в магнитно-возмущенные периоды времени. В дальнейшем количественная оценка предела адиабатичности движения частиц оказалась решающей в определении природы захваченных тяжелых ионов в радиационных поясах. Оказалось, что зарядовые состояния энергичных ионов (МэВ-ных энергий), таких как кислород, углерод, железо, населяющих радиационные пояса, близки с наблюдаемыми для солнечной плазмы и энергичных частиц (т. е. многократно заряженными). Это было свидетельством в пользу солнечного происхождения захваченных частиц.

Исследования тяжелых ионов в радиационных поясах позволили обнаружить еще один механизм их формирования. Было показано, что протоны внутренней зоны радиации внутри конуса потерь (в районе Южно-Атлантической аномалии) в результате взаимодействия с атомами атмосферы создают новые вторичные частицы (например, гелий). Последние, оказавшись в ловушке, образуют дополнительный (к основному, созданному радиальным переносом частиц к Земле) пояс захваченных частиц. Это явление впервые было обнаружено в эксперименте на низковысотном спутнике «Интеркосмос-17» (С.Н. Кузнецов и др., 1981).

Важным для понимания физики радиационных поясов явилось также обнаружение в начале 1990-х годов нового радиационного пояса, состоящего из частиц аномальной компоненты космических лучей (Н.Л. Григоров, М.И. Панасюк и др., 1991). Оказалось, что однократно заряженные ионы кислорода и других элементов, входящих в состав аномальной компоненты, после перезарядки в верхних слоях атмосферы могут захватываться на устойчивые орбиты, образуя популяцию частиц, состоящую из вещества ближней межзвездной среды.

4. Кольцевой ток и модель магнитосферной бури

С самого начала исследований радиационных поясов плазма солнечного ветра, проникающая внутрь магнитосферы, рассматривалась в качестве основного «материала», пополняющего их. Полностью подтвердить или опровергнуть эту гипотезу могли лишь прямые эксперименты в космосе по из-

мерению ионного состава частиц в области захвата. Существовала и еще одна проблема, вплотную примыкающая к физике околоземной плазмы и энергичных частиц, – механизм генерации магнитных бурь. Задолго до начала космических исследований А. Десслер (A. Dessler) высказал идею о кольцевом токе – источнике возмущения земного магнитного поля. Но только с началом проведения прямых спутниковых экспериментов представилась возможность окончательно решить эту проблему.

К началу 1970-х годов стало ясно, что основная доля энергии частиц в радиационных поясах сосредоточена в ее протонной компоненте с энергиями в десятки кэВ – так называемой области горячей плазмы. Однако до этого времени измерений протонов со столь низкими энергиями не проводилось. Кроме того, было важным осуществить эксперимент в районе экваториальной плоскости, где должна наблюдаться максимальная плотность энергии частиц кольцевого тока. Такие измерения впервые были проведены на спутнике «Explorer 45» и несколько позднее в НИИЯФ МГУ на спутниках «Молния-1» и «Молния-2» (Э.Н. Сосновец, М.И. Панасюк, А.С. Ковтюх и др.). Эти эксперименты действительно подтвердили, что протоны в диапазоне энергий от десятков и до 200–300 кэВ – важнейшая компонента кольцевого тока Земли, определяющая его энергетику. Оказалось, что вариации плотности частиц именно этой компоненты околоземной радиации соответствуют основополагающей формуле Десслера–Паркера–Скопке, связывающей изменения геомагнитного поля и запасенную энергию частиц кольцевого тока.

В отличие от радиационных поясов частицы кольцевого тока в большей степени подвержены воздействию магнитосферного электрического поля. Поэтому обнаружение долготной асимметрии инжекции кольцевого тока на первоначальной фазе магнитной бури (преимущественно в вечернем секторе) с точки зрения модели дрейфа частиц в скрещенных электрических и магнитных полях не было удивительным и полностью согласовывалось с предыдущими измерениями магнитного поля на спутниках.

Роль вариаций магнитосферного электрического поля в динамике частиц внутри зоны захвата была детально рассмотрена Б.А. Тверским в 1969 г., и характерные особенности динамики кольцевого тока во время магнитных бурь стали дополнительным аргументом в пользу этой модели.

Последующий этап развития знаний о кольцевом токе как плазменном образовании, ответственном за изменение магнитного поля Земли во время магнитных бурь, был связан с двумя вновь обнаруженными экспериментальными фактами, не укладывавшимися в картину протонного кольцевого тока. Во-первых, в 1972 г. американским исследователям на низковысотном полярном спутнике удалось обнаружить возрастания потоков однократно ионизированного кислорода во время магнитных бурь. Это было первым указанием на возможное существование еще одного, кроме плазмы солнеч-

ного ветра, источника частиц в ближней магнитосфере, и в частности в самом кольцевом токе, – ионосферных ионов. Во-вторых, изучение кольцевого тока во время сильных бурь указывало на дефицит плотности энергии частиц кольцевого тока, состоящего из протонов, по сравнению с энергией магнитного поля во время главной фазы бури. Стало очевидным, что поиск «недостающей» энергии кольцевого тока надо искать в другом источнике – ионосферном, способном поставлять в кольцевой ток частицы более тяжелые, чем протоны солнечного ветра. Такие эксперименты были одновременно развернуты в 1984 г. в СССР на геостационарном спутнике «Горизонт» и в США в рамках эксперимента «AMPTE».

Эти эксперименты действительно выявили значительную роль ионосферной плазмы в формировании кольцевого тока. Тем самым была в основном снята проблема «дефицита» энергии кольцевого тока и установлен новый источник частиц как кольцевого тока, так и радиационных поясов – ионосферная плазма. Ее отличие от солнечных частиц – в присутствии значительного количества слабоионизированных атомов кислорода. Их относительная концентрация во время магнитных бурь может достигать плотности водорода или даже превышать ее.

Существенную роль в изучении динамики солнечной и ионосферной плазмы сыграли эксперименты, выполненные в 1980–1990-х годах на геостационарных спутниках «Горизонт» благодаря многолетнему успешному сотрудничеству института с НПО «Прикладная механика» в Красноярске, начатому еще в начале 1970-х годов. В этих экспериментах удалось получить уникальные данные по вариациям потоков солнечной и ионосферной плазмы (М.И. Панасюк, Э.Н. Сосновец, А.С. Ковтюх, 1984) и выделить адиабатическую составляющую этих изменений. Последнее важно для идентификации инжекционного механизма (А.С. Ковтюх, 1998). Было показано, что во время бурь в магнитную ловушку инжектируются только частицы с энергией, не превышающей некоторого предельного значения. Потоки же частиц достаточно больших энергий во внешних областях зоны захвата испытывают лишь адиабатическую вариацию. Кроме того, было выявлено, что сами спектры инжектируемых ионов солнечного и ионосферного происхождения могут отличаться.

Открытие ионосферного источника ионов кольцевого тока диктовало необходимость теоретической интерпретации механизма инжекции этих частиц из ионосферы и их ускорения. Большой вклад в решение этой проблемы внесли работы Е.Е. Антоновой, выполненные на основе рассмотрения магнитостатически равновесных продольных токов, создаваемых азимутальными градиентами давления. Последние создаются за счет неустойчивости радиального градиента либо за счет вводимого извне распределения потенциала электрического поля в полярной шапке. Как результат реализуется следующая картина инжекции ионосферных частиц в кольцевой ток.

Динамика магнитосферной токовой системы такова, что в области перехода от дипольных к вытянутым в хвост магнитным силовым линиям возникают суббури и микросуббури (преимущественно при южном направлении межпланетного магнитного поля). Они сопровождаются появлением горячего плазменного сгустка или пузыря, не находящегося в равновесии с окружающей плазмой. Часть нагретой плазмы инжектируется во внутреннюю магнитосферу, формируя кольцевой ток, а другая часть – в хвост, формируя плазмод, движущийся от Земли.

«Вклад» тяжелых ионов ионосферного происхождения не разрешил, однако, полностью проблему магнитного эффекта кольцевого тока в рамках его рассмотрения согласно закону Десслера–Паркера–Скопке. Оказалось, что во время уникальных супербурь (с амплитудами D_{st} , превышающими 200–300 нТ) энергии кольцевого тока, состоящего из протонов и кислорода, все же не хватало для объяснения наблюдающихся D_{st} . Стало оче-

видным, что вклады в вариации магнитосферного поля ионосферных токовых систем, биркеландовских токов вдоль силовых линий магнитного поля токовых слоев в магнитосферном хвосте и на магнитопаузе очень существенны и могут даже доминировать (А.С. Ковтюх и др., 1986).

Проблемы динамики магнитосферных токовых систем получили развитие в институте и в теоретическом плане. Основы модели магнитосферного поля Земли заложил в 1960-е годы В.П. Шабанский (рис. 8).

В последующем, в 1990-х годах, была создана динамическая («параболоидная») модель магнитосферы (И.И. Алексеев, В.В. Калегает), позволяющая исследовать динамику магнитосферных токовых систем и их вклад в вариации геомагнитного поля, в том числе и во

время сильных магнитных бурь. Изменения магнитосферного магнитного поля в этой модели описываются временными вариациями параметров магнитосферных токовых систем, которые однозначно определяются из совокупности данных измерений в околоземном космическом пространстве. Созданная в институте динамическая модель магнитосферного магнитного поля используется для анализа взаимодействия магнитосферы с корональными выбросами, которые вызывают сильные геомагнитные возмущения – магнитные бури и суббури. В настоящее время Международная организация по стандартизации (ISO) приняла динамическую модель магнитосферы НИИЯФ МГУ в качестве основы международного стандарта.

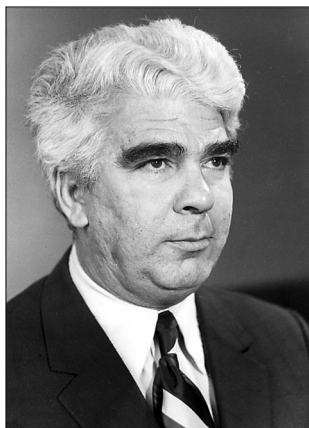


Рис. 8. Велиор Петрович Шабанский

Другой концептуальный подход к изучению динамики кольцевого тока был развит в работах Б.А. Тверского (1997). Он основан на существовании разницы в давлении плазмы во внутренних и внешних областях магнитосферы во время асимметричной части геомагнитных возмущений. Показано, что даже небольшое давление плазмы на значительных геоцентрических расстояниях может вносить существенный вклад в энергию кольцевого тока внутри ловушки. Этот подход, однако, не снимает проблему развития сильных бурь, связанную с «включением» сильных продольных токов и мощных потоков ионосферных ионов внутрь геомагнитной ловушки.

Обнаружение нового источника частиц во внутренней магнитосфере – ионосферного – привело к необходимости дополнительного изучения структуры захваченных частиц более высоких энергий, чем плазма кольцевого тока, т. е. частиц радиационных поясов. Плазма кольцевого тока, состоящая из частиц солнечного ветра и ионосферы, безусловно, является источником частиц для радиационного пояса. В терминах уравнения переноса это означает задание отдельных граничных условий для солнечных и ионосферных частиц.

Таким образом, к настоящему времени сложилось представление о радиационных поясах и кольцевом токе как о многокомпонентной популяции частиц, населяющих внутреннюю магнитосферу. Помимо солнечной плазмы, солнечных энергичных частиц, галактических космических лучей и аномальной компоненты ее источником также является ионосферная плазма как неотъемлемая составляющая.

5. Динамика частиц радиационных поясов и проблема инжекции

Изучение вариаций потоков частиц радиационных поясов Земли началось сразу же после их открытия. Уже упоминались обнаруженные на 3-м искусственном спутнике Земли изменения потоков во внешнем радиационном поясе. Сейчас ясно, что механизмов, ответственных за вариации частиц радиационных поясов, довольно много.

С точки зрения уравнения переноса изменения пространственно-энергетической структуры захваченных частиц зависят от коэффициента диффузии, который в свою очередь определяется параметрами солнечного ветра в межпланетной среде и зависит как от текущей гелиофизической обстановки (например, наличие корональных инжекций масс в межпланетной среде), так и от долговременных солнечно-циклических изменений. Поэтому коэффициент диффузии определяется не только амплитудой геомагнитных возмущений, но и их частотой. Коэффициент «магнитной» диффузии, определенный Б.А. Тверским (1965), соответствовал средневозмущенной геомагнитной обстановке и соответственно определял «усредненную» пространственно-энергетическую структуру поясов.

Исследования на спутниках «Электрон», выполненные в середине 1960-х годов (С.Н. Кузнецов, Э.Н. Сосновец, В.Г. Стоповский и др.), показали высокую изменчивость внешнего электронного радиационного пояса и относительную стабильность протонного. Обнаруженные диффузионные волны электронов на фазе восстановления бурь демонстрировали скорость перемещения в соответствии со «средневозмущенным» коэффициентом переноса, что подтверждало справедливость концепции «магнитной» диффузии частиц радиационных поясов. Кроме того, стало очевидным, что быстрые изменения потоков электронов могут быть связаны с воздействием на магнитосферу одиночных импульсов давления солнечной плазмы большой амплитуды, приводящих к аномально быстрому перемещению частиц внутрь ловушки по сравнению со скоростью переноса, определяемой «средневозмущенным» коэффициентом диффузии.

Выявленная на основе многочисленных спутниковых измерений («Молния-1», «Космос-900», «Метеор» и др.) характерная зависимость изменения пространственного положения максимума профиля электронов (L_{\max}) от максимального значения индекса геомагнитной активности $D_{st} \big|_{\max} \sim L_{\max}^{-4}$ (Л.В. Тверская, 1992) свидетельствовала в пользу механизма адиабатического изменения потоков электронов в связи с инъекцией плазменного облака кольцевого тока при дисбалансе внутреннего и внешнего давления плазмы (Б.А. Тверской, 1997).

Однако наиболее значимым по своему проявлению, нарушающим типичную пространственно-энергетическую структуру электронных поясов стало обнаружение Е.В. Горчаковым в 1977 году на спутнике «Космос-900» появления ускоренных электронов с энергией ~ 15 МэВ в сердцевине ($L \sim 3,5$) радиационных поясов на фазе восстановления геомагнитных бурь. По сути, это было рождением проблемы генерации релятивистских электронов внутри геомагнитной ловушки, которая развивается и по сей день.

В настоящее время в качестве основного рассматривается механизм резонансного взаимодействия электронов с ОНЧ-волнами, приводящего к ускорению электронов вплоть до релятивистских энергий. Это более быстрый процесс по сравнению с обычным переносом частиц под действием внезапных импульсов геомагнитного поля, однако он слишком медленный, чтобы объяснить открытый в 1991 г. на спутнике CRRES эффект резонансного ускорения электронов и протонов в течение секунд до энергий соответственно ~ 15 и 40 МэВ на $L = 2,2\text{--}2,6$.

Это довольно редкое явление в радиационных поясах, обусловленное, как было показано Б.А. Тверским в 1993 г. и рядом зарубежных авторов, возникновением мощных биполярных импульсов геомагнитного поля. В дальнейшем такие эффекты ускорения наблюдались на спутниках «Гранат» и «Метеор» и других спутниках. В целом вариации электронов данно-

го типа укладываются в модель ускорения частиц под действием внезапных импульсов, но с амплитудой и формой, редко наблюдающимися в природе.

Еще одним важным аспектом проблемы динамики электронов в радиационных поясах являются их потери. Электроны в большей степени подвержены воздействию электромагнитных волн (в основном ОНЧ-диапазона), чем ионы. Этим фактором наряду с кулоновским рассеянием и определяется их время жизни в ловушке. На эту тему было выполнено довольно много работ, базирующихся на отечественных экспериментах. В первую очередь это эксперименты на спутниках серий «Космос», «Интеркосмос», выполненные под руководством С.Н. Кузнецова и Ю.В. Минеева. В основном данная проблема – ясна, однако здесь следует выделить один вопрос, требующий дальнейшего исследования. Это – взаимосвязь между природными и антропогенными воздействиями на электронные радиационные пояса. На возможность интерпретации высыпаний электронов из поясов под действием антропогенных факторов (наземные радиопередатчики, линии электропередач) указывалось в ряде работ, выполненных на основе изучения низкоэнергичных электронов на орбитальной станции «Мир» (О.Р. Григорян и др., 1985), и недавно это получило подтверждение в количественных модельных оценках стэнфордской группы исследователей. Вырисовывается картина пространственно-энергетической структуры части внутреннего пояса электронов и зазора, согласно которой именно антропогенная составляющая ответственна за ее формирование.

Таким образом, более чем 40-летний период исследований динамики электронных радиационных поясов привел к достаточно согласованной модели ее описания как результата воздействия на ее пространственно-энергетическую структуру внешней среды – солнечного ветра, приводящего к геомагнитным возмущениям, и внутренних причин – низкочастотных колебаний электромагнитного поля, включая антропогенное воздействие.

Другим аспектом пространственно-энергетических вариаций частиц радиационных поясов является проблема инжекции частиц из внешних областей магнитосферы. Важность этой проблемы обусловлена тем, что практически для всех механизмов формирования радиационных поясов требуется предускорение частиц до весьма значительных энергий. Так, в модели квазистационарной радиальной диффузии частиц в качестве граничного условия задается экспериментально наблюдаемый энергетический спектр на внешней границе радиационных поясов, который весьма сильно отличается от наблюдаемого в межпланетной среде. Поэтому инжекция достаточно энергичных частиц может осуществляться внутрь ловушки либо после их предускорения в удаленных областях магнитосферы, либо путем заброса уже достаточно энергичных частиц солнечных космических лучей.

Что касается изучения ускорения частиц вне радиационных поясов, то этому посвящен ряд работ, выполненных в НИИЯФ МГУ на высокоапогейных спутниках серий «Прогноз» и «Молния». В частности, было показано, что во время суббурь происходит ускорение как протонов, так и электронов в хвосте магнитосферы (данные спутников «Молния», Л.В. Тверская, М.И. Панасюк, Э.Н. Сосновец, 1971). Сейчас понятно, что такого рода кратковременные всплески потоков частиц обусловлены их ускорением в хвосте магнитосферы в результате механизмов пересоединения или (и) развитием плазменной турбулентности.

Второй сценарий картины инжекции связан с проникновением солнечных энергичных частиц непосредственно внутрь ловушки. Этот механизм достаточно хорошо изучен к настоящему времени на основе данных многих экспериментов на низковысотных спутниках («Космос-900», «Интеркосмос-17», «Коронас-И», «Коронас-Ф» и др.).

Динамику проникновения солнечных протонов в магнитосферу Земли в МэВ-ном диапазоне начали детально исследовать в 1970-е годы на спутниках серии «Космос». Благодаря этим работам был разработан метод диагностики состояния основных структурных образований магнитосферы. Была впервые обнаружена северо-южная асимметрия проникновения солнечных частиц в полярные шапки и получены подтверждения в пользу «открытого» характера магнитосферы Земли (Э.Н. Сосновец, Л.В. Тверская и др., 1983).

В общих чертах существующая модель проникновения сводится к пространственным вариациям – широтным смещениям зависящего от жесткости порога геомагнитного обрезания внутренней границы инжектируемых частиц. Сама жесткость геомагнитного обрезания «регулируется» амплитудой как геомагнитных бурь, так и суббурь и проявляет сложный характер в зависимости от местного времени и индексов геомагнитной активности (С.Н. Кузнецов, Л.Л. Лазутин, И.Н. Мягкова, Б.Ю. Юшков, 2004).

С точки зрения формирования радиационных поясов важен вопрос об эффективности последующего захвата этих «свежих» частиц. Если для электронов эта возможность исходя из критерия Альвена должна реализоваться достаточно эффективно, то для энергичных солнечных протонов соотношение ларморовского радиуса и кривизны силовой линии магнитного поля в районе внутренней границы инжекции делает возможность захвата проблематичным.

Тем не менее результаты последних лет (данные спутника «Коронас-Ф») показывают, что захват протонов (и более тяжелых частиц) реально существует, но это достаточно редкое явление (Л.Л. Лазутин, 2008). Реальная физическая модель захвата солнечных частиц и их дальнейшая роль в формировании радиационных поясов – направление текущих и последующих исследований.

6. Радиационная обстановка в околоземном космическом пространстве и проблема безопасности космических полетов

В 1960 г. в Советском Союзе начались осуществляться первые запуски кораблей-спутников в рамках программы подготовки полета космонавта. Несмотря на то что орбиты этих космических аппаратов были достаточно низкие – под радиационными поясами, – оказалось, что в районе Южной Атлантики существуют области повышенной радиации на небольших высотах – ниже нескольких сотен километров. В постановке экспериментов на кораблях-спутниках участвовала группа сотрудников НИИЯФ МГУ под руководством И.А. Савенко. Было обнаружено, что увеличение радиации в этой области совпадает с отрицательной магнитной аномалией Земли – локальным понижением напряженности магнитного поля по сравнению с сопряженными областями на тех же долготах в Северном полушарии. В результате частицы, дрейфующие вокруг Земли в районе этих долгот, отражаются в зеркальных точках в Южном полушарии на меньших высотах, чем в Северном. Тем самым образуется радиационная аномалия, безусловно представляющая потенциальную опасность для пилотируемых космических полетов (С.Н. Вернов, И.А. Савенко, П.И. Шаврин, 1964).

Именно данные первых кораблей-спутников позволили определить дозу радиации на высотах полетов пилотируемых космических аппаратов. Оказалось, что она составляет ~ 20 мрад/сут под защитой ~ 3 г/см² для орбит высотой ~ 400 км и наклоном менее 65° и не представляет опасности для полетов космонавтов. В дальнейшем измерения радиационных доз проводились регулярно на всех пилотируемых космических кораблях, а созданная в НИИЯФ МГУ система радиационного контроля на базе ионизационной камеры (Р-16 под руководством М.В. Тельцова) в течение более чем трех десятилетий, вплоть до настоящего времени, обеспечивает радиационную безопасность космических полетов.

Наряду с обеспечением радиационной безопасности пилотируемых космических полетов институт благодаря инициативе С.Н. Вернова был вовлечен в программу широкомасштабного экспериментального исследования радиационных полей в космосе для изучения их влияния на работу бортовых систем спутников и деградацию конструкционных материалов. Детальное изучение радиации началось с экспериментов на спутнике «Космос-17», запущенном в 1963 г., и продолжилось позднее в 1960-х годах на спутниках серии «Электрон». С тех пор институт стал лидером по исследованию радиации в околоземном космическом пространстве.

Многие годы исследования радиационных полей в космосе создали множество нормативных документов для организаций космической промышленности, позволяющие учитывать и минимизировать влияние на системы

космических аппаратов одного из самых опасных факторов космической среды – радиации.

В итоге многолетних исследований радиационной обстановки в космосе пришло понимание того, что все виды космических излучений: радиационные пояса, солнечные энергичные частицы, галактические космические лучи, а также вторичная, альбедная радиация и высыпающиеся из радиационных поясов частицы – вызывают разнообразные радиационные эффекты, проявляющиеся либо в их пространственной локализации в околоземном пространстве, либо в характере их взаимодействия с веществом.

Например, радиационные пояса представляют собой источники дозовых эффектов воздействия радиации. Мощность дозовых эффектов зависит как от геомагнитной активности (на временной шкале геомагнитных бурь и суббурь), так и от фазы солнечного цикла.

Вариации релятивистских электронов во внешней зоне области захвата – яркий пример относительно кратковременных увеличений потоков, способных привести к нарушениям работы высокоапогейных и геостационарных спутников. Этому направлению были посвящены работы на спутниках «Молния-1» и «Молния-2», на геостационарных спутниках «Горизонт» и полярных «Метеор» и «Корона-Ф».

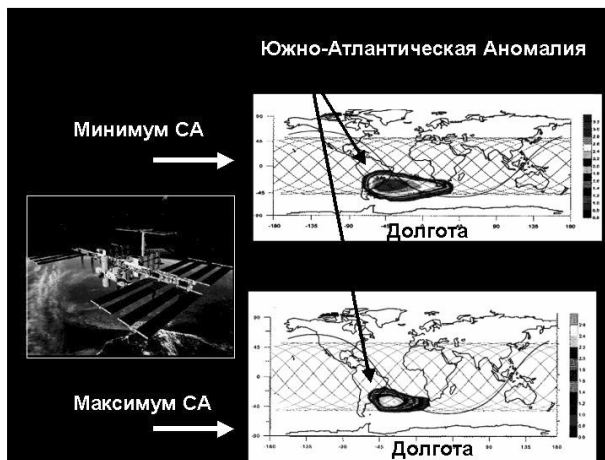


Рис. 9. Динамика радиационной обстановки в Южно-Атлантической аномалии в течение цикла солнечной активности: дозы радиации в этой области возрастают в минимуме цикла и понижаются в максимуме

С другой стороны, изучение долговременных вариаций радиационных доз на станции «Мир» привело к обнаружению солнечно-циклической вариации радиации на малых высотах в районе Южно-Атлантической аномалии (рис. 9), связанной с изменением плотности и температуры верхней атмосферы (М.И. Панасюк, В.Н. Башкиров, 1997).

Помимо частиц радиационных поясов, солнечные космические лучи, генерируемые во время солнечных вспышек и корональных инжекций масс, – еще один мощный фактор, повышающий радиационный риск космических полетов. На спутниках «Прогноз-1, 2» были установлены ионизационные камеры с целью измерения доз радиации, обусловленной как галактическими космическими лучами, так и частицами от возможных солнечных вспышек. Во время вспышек 4 и 7 августа 1972 г., которые входили в десятку мощнейших из зарегистрированных к настоящему времени, доза радиации внутри космического аппарата превысила 100 рад.

Эти результаты, безусловно, свидетельствовали о реальной радиационной опасности космических полетов вне пределов магнитосферы Земли даже в течение короткого промежутка времени.

Следует заметить, что радиационная безопасность космических полетов как направление космической физики имеет длительную историю экспериментальных и теоретических исследований в институте (см. разд. 7). Что касается проблемы изменения радиационной обстановки в связи с генерацией СКЛ, то к числу важнейших результатов, полученных в этой области, следует отнести:

- исследования проникновения СКЛ во внутреннюю магнитосферу, и в частности на низковысотные орбиты пилотируемых космических аппаратов, показавшие, что СКЛ – мощный источник радиационных нагрузок во время сильных солнечных вспышек, сопровождающихся геомагнитными возмущениями, вплоть до низких (~400 км) орбит;
- исследования вариаций потоков СКЛ во время солнечных событий в межпланетной среде, продемонстрировавшие тесную связь между наблюдающимися у Земли потоками частиц с локализацией активных областей на Солнце и прохождением ударных волн в межпланетной среде.

Большую роль в систематизации знаний о солнечных космических лучах сыграли выпущенный при участии сотрудников института «Каталог солнечных космических лучей» (Ю.И. Логачев и др., 1995) и вероятностная модель СКЛ (Р.А. Ныммик, 2001).

Среди космических факторов радиационных рисков галактическим космическим лучам (ГКЛ) принадлежит особая роль. Вследствие своих чрезвычайно низких потоков ГКЛ не могут вызвать существенных радиационных дозовых нагрузок. Однако, как это стало очевидным в конце 1970-х – начале 1980-х годов, именно эта компонента космической радиации вызывает нарушения в работе бортовых электронных систем, связанные с локальными повреждениями в микрообъемах (эффекты одиночных сбоев), в первую очередь тяжелыми ядрами (например, железа). В настоящее время эти эффекты хорошо изучены и создана модель, позволяющая их рассчитать в зависимости от параметров орбиты спутника и гелиогеофизической обстановки (Н.В. Кузнецов, 2001).

7. Исследования солнечных энергичных частиц

Первые измерения солнечных частиц за пределами атмосферы были проведены на 3-м советском спутнике в июле 1958 г. Эти частицы возникли после мощной вспышки и создали вблизи Земли интенсивные потоки 100-МэВ-ных протонов с дозой радиации ~ 100 рад. За всю историю космических исследований наблюдалось всего несколько таких мощных вспышек.

В дальнейшем изучение СКЛ в НИИЯФ МГУ проводилось на всех космических аппаратах, запущенных к Венере, Марсу и Луне. Межпланетные станции были укомплектованы приборами для регистрации протонов в широком интервале энергий, начиная с ~ 100 кэВ. Измерения столь малоэнергичных частиц показали, что солнечные вспышки, генерирующие частицы малых энергий, происходят гораздо чаще, чем вспышки с более энергичными частицами.

Первые исследования СКЛ позволили также установить основную закономерность распространения частиц в межпланетном пространстве – наличие событий диффузионного (медленного) типа, характеризующихся медленным рассеянием, и быстрых, импульсных. Эти результаты легли в основу для сравнения с различными теориями процессов распространения частиц. Многочисленные эксперименты на межпланетных космических аппаратах дали уникальный протяженный ряд однородных данных о вариациях СКЛ вдали от Земли. Были сформулированы представления о структуре и динамике межпланетной среды и о распространении и модуляции космических лучей (Г.П. Любимов и др.).

Большую роль в изучении СКЛ сыграли эксперименты на спутниках «Прогноз». С 1972 по 1985 годы запущено 10 спутников. На них устанавливалась разнообразная аппаратура, позволявшая изучить как энергетическое распределение и состав заряженных солнечных частиц, так и нейтральное – рентгеновское и гамма-излучение солнечных вспышек. Это были первые комплексные эксперименты по изучению ускоренных частиц солнечного происхождения. Они позволили выявить ряд важных закономерностей (Ю.И. Логачев, Е.И. Дайбог, В.Г. Курт, М.Я. Зельдович, В.Г. Столповский), среди которых следующие:

- вывод о геоэффективности вспышек, происходящих на западной полусфере солнечного диска, как следствие распространения частиц вдоль силовых линий межпланетного магнитного поля;
- доказательство одновременного выхода как протонов (ядер), так и электронов во время вспышек и определение коэффициента выхода электронов из области ускорения в межпланетное пространство;
- существование нескольких моделей распространения частиц в межпланетной среде: диффузионной, без рассеяния, когерентной, а также их суперпозиция;

- идентификация различной природы фоновых потоков частиц в межпланетном пространстве – солнечной и галактической. Оказалось, что при энергиях менее 15–20 МэВ доминирует солнечная компонента, коррелирующая с солнечной активностью, а при больших энергиях – галактическая с характерной антикорреляцией по отношению к солнечному циклу.

Одновременно с интенсивными экспериментальными работами по исследованию СКЛ в межпланетной среде в институте развивались и теоретические изыскания в этом направлении. Прежде всего, они касались возможных механизмов ускорения частиц солнечного происхождения. Еще в 1961 г. Б.А. Тверской сделал попытку количественной интерпретации наблюдаемых вариаций СКЛ на основе турбулентного ускорения, приведшей к удовлетворительному согласию с наблюдаемыми спектрами энергичных частиц. Этот механизм ускорения частиц является не конкурирующим, а скорее, дополнительным к предложенному другими авторами (Г.Ф. Крымский и др.) в 1970-х годах статистическому ускорению Ферми I рода на фронтах ударных волн. Именно сочетание одновременного действия различных физических механизмов ускорения частиц позволяет приблизиться к осмыслению сложного характера трансформации функций распределения в процессе их транспорта в межпланетной среде. Тем не менее многие вопросы, касающиеся проблемы ускорения солнечных частиц, и среди них прежде всего проблема локализации области ускорения в самой солнечной атмосфере (в активных областях) и (или) в межпланетной среде, а также связанная с этим проблема предельно достижимых энергий частиц во время активных процессов, продолжают быть актуальными и в настоящее время.

В последние годы проблематика изучения транспорта и ускорения СКЛ стала развиваться на базе экспериментов на низковысотных полярных спутниках серии «Коронас»: «Коронас-И» был запущен в 1994 г. (рис. 10),

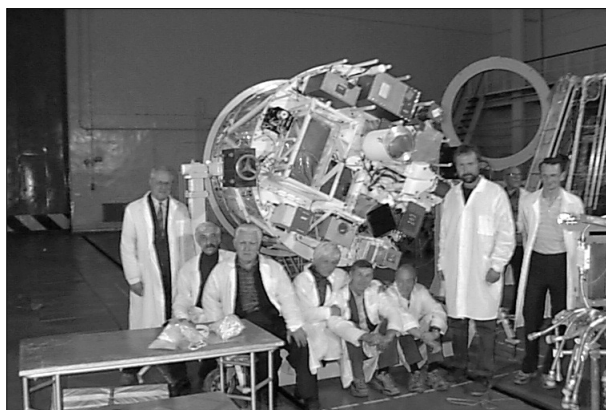


Рис. 10. Подготовка к запуску спутника «Коронас-И» (1991)

«Коронас-Ф» – в 2001 г. Последний из этой серии спутник «Коронас-Фотон» начал работать в январе 2009 г.

Эксперимент на спутнике «Коронас-Ф» представил уникальную возможность изучения солнечных экстремальных событий на фазе спада 23-го цикла солнечной активности, сопровождавшихся мощными корональными инжекциями плазмы и генераций энергичных частиц. Исследование состояний Солнца и солнечно-земных связей в периоды именно экстремально низкой и экстремально высокой активности может дать материал для лучшего понимания основных физических закономерностей, проявляющихся в это время. Среди важных результатов – экспериментальное доказательство возможности двухстадийного ускорения частиц в активных областях, обнаружение поляризации рентгеновского излучения и наблюдение развития асимметрии распределений активности по диску Солнца. Они дали новую информацию о физике процессов в активных областях Солнца во время вспышек (И.С. Веселовский, С.Н. Кузнецов, Л.Л. Лазутин и др., 2004). Новые факты проливают дополнительный свет на не вполне понятную пока природу этого явления и свидетельствуют о его тесной связи с подфотосферными слоями и процессами в недрах Солнца, а не только лишь с неустойчивостью магнитного поля и плазмы в верхней атмосфере – хромосфере и короне. Они свидетельствуют, скорее всего, о преимущественном быстром поступлении избыточной свободной энергии из-под фотосферных слоев Солнца. Таким образом, получены новые весомые аргументы в пользу представлений о нелокальной природе эруптивных процессов на Солнце.

8. Исследования атмосферных излучений

Начало оптических наблюдений излучений земной атмосферы в ультрафиолетовом, инфракрасном и видимом диапазонах длин волн как наземными, так и космическими методами в НИИЯФ МГУ связано с именами А.И. Лебединского и О.В. Хорошевой (рис. 11).

А.И. Лебединский начал активную работу в этом направлении еще в 1948 г., создав специальную широкоугольную фотокамеру для съемок полярных сияний. Ее использовали на наземных станциях, расположенных в Арктике и в Антарктиде. Анализ фотографических наблюдений на глобальной сети станций существенно изменил представления о пространственном распределении зон полярных сияний. Оказалось, что дискретные, резко очерченные формы полярных сияний существуют вдоль зоны, располагающейся асимметрично относительно геомагнитного полюса.

О.В. Хорошевой было показано, что полярные сияния наблюдаются на всех долготах одновременно, образуя своеобразный овал как над северной полярной шапкой, так и над южной. Этот результат был пионерским и на многие годы вперед предопределил направление дальнейших исследований

взаимосвязи этого замечательного феномена в верхней атмосфере с глобальными электродинамическими процессами в магнитосфере Земли. Была установлена тесная связь асимметричного овала сияний с крупномасштабной структурой геомагнитного поля и потоками энергичных частиц магнитосферного происхождения. Низкоширотная граница полярного овала представляет собой проекцию на высокие слои атмосферы (ионосферу) границы захваченной радиации, совпадающей с границей замкнутых силовых линий магнитного поля Земли. Наблюдения взаимного расположения электронных и протонных сияний в совокупности с данными фотосъемок позволили объяснить полярные сияния непосредственным возбуждением молекул и атомов атмосферы с вторгающимися в нее частицами.

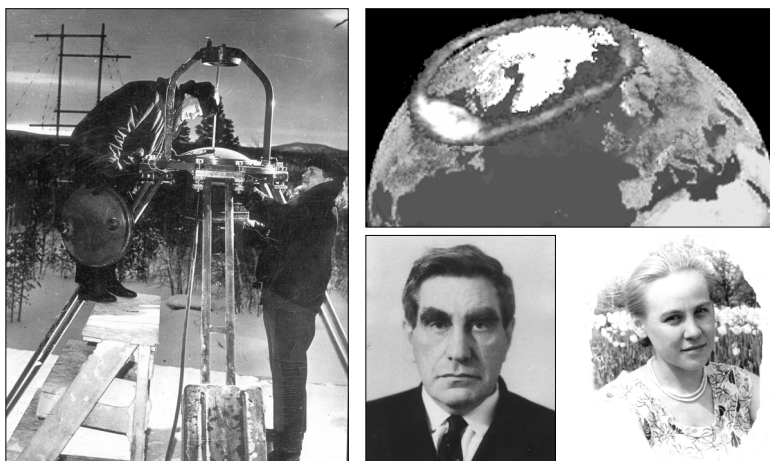


Рис. 11. Оптические наблюдения излучений земной атмосферы.
Александр Игнатьевич Лебединский и Ольга Ванифатьевна Хорошева

Важную роль в изучении взаимосвязи полярных сияний с процессами, происходящими в магнитосфере во время геомагнитных возмущений, сыграл эксперимент на спутнике «Космос-900» («Овал»), начавшийся в 1977 г. Его научными руководителями были Б.А. Тверской и К.И. Грингауз (ИКИ РАН). Благодаря этому эксперименту, позволившему провести измерения плазмы, заряженных частиц и ультрафиолетового излучения, удалось понять многие закономерности взаимосвязи процессов ускорения, переноса (включая высыпания) частиц в удаленных областях магнитосферы и в ближнем космосе – радиационных поясах – с генерацией полярных сияний в верхней атмосфере.

Современное понимание природы полярных сияний сводится к тому, что полярные сияния – одно из проявлений сложного процесса магнитосферно-ионосферного взаимодействия, связывающего в единую цепь множество физических процессов, происходящих в удаленных частях магнитосферы –

хвосте и плазменном слое, кольцевом токе, радиационных поясах и ионосфере. Большую роль в развитии теории магнитосферно-ионосферных связей сыграли работы теоретиков института – Б.А. Тверского, В.П. Шабанского, А.П. Кропоткина, Е.Е. Антоновой, И.И. Алексеева и др.

Космические исследования открыли путь геофизическим и астрофизическим исследованиям электромагнитного излучения в широком спектре длин волн. Выход оптических измерений за границы видимой области спектра значительно увеличивает поток информации, которую несет в себе электромагнитное излучение Земли и других небесных тел.

Первые такие эксперименты по изучению электромагнитного излучения Луны, Марса и Венеры были осуществлены А.И. Лебединским с сотрудниками еще в 1960-х годах на АМС. Эти эксперименты позволили выявить неизвестные ранее физические характеристики поверхности Луны и Венеры.

К первоначальной эпохе изучения космоса относятся также исследования свечений ночной атмосферы Земли в ультрафиолетовой области. Именно эксперименты на спутниках «Космос-45, 65, 92», проведенные А.И. Лебединским, В.И. Краснопольским, В.И. Тулуповым в 1960-е и в начале 1970-х годов, стали первым надежным материалом по широтным вариациям молекулярного кислорода O_2 и озона O_3 . Эти эксперименты, по сути, также были пионерскими и дали важные результаты по широтным и сезонным изменениям этих атмосферных составляющих. В частности, было показано уменьшение содержания озона при усилении солнечной активности. Помимо фундаментальных вопросов космической физики, исследование электромагнитных эмиссий, излучаемых Землей, имеет также прикладную направленность, связанную с безопасным обеспечением космических полетов (это вопросы теплового баланса спутников, их ориентации и др.). Эти исследования также были начаты А.И. Лебединским с сотрудниками в конце 1960-х годов на спутниках серии «Космос».

Изучение свечений атмосферы в ультрафиолетовом диапазоне были недавно продолжены на полярном спутнике «Университетский–Татьяна», запущенном в январе 2005 г. Основным их результатом стало обнаружение в миллисекундном диапазоне всплеск ультрафиолетового излучения с гигантской энергией, достигающей для отдельных событий сотен мегаджоулей и даже единиц гигаджоулей (10^9 Дж) в импульсе. Эти явления носят название «транзиентные световые явления» и наблюдаются вблизи экватора. Сейчас ясно, что эти интересные атмосферные явления не только наблюдаются как свечение в ультрафиолете и в диапазоне длин волн ближе к красному, но и сопровождаются гамма-излучением и электромагнитным излучением в радиодиапазоне низкочастотных волн. Не исключена генерация и быстрых нейтронов в результате фотоядерных реакций, так как энергия гамма-квантов достигает в транзиентах 10–20 МэВ. Таким образом, мы имеем дело с совершенно новым классом физических явлений в

верхней атмосфере, изучению которых уделяется в последнее время огромное внимание со стороны различных космических научных центров. Их природа, т. е. физические механизмы генерации, до настоящего времени окончательно не ясны. Однако одна из моделей (Гуревич, 2001) позволяет представить картину их рождения на основе теории «убегающих» релятивистских электронов, появляющихся в сильных электрических полях молниевых разрядов и распространяющихся вверх вдоль магнитных силовых линий. Являются ли «убегающие электроны» приземных грозных явлений тем «спусковым» механизмом, ответственным за появление транзитных световых явлений в верхней атмосфере, могут показать только будущие эксперименты.



Рис. 12. Подготовка к запуску спутника МГУ «Университетский–Татьяна-2» (2009)

Именно на выявление природы атмосферных транзиентов направлен следующий эксперимент на борту спутника МГУ «Университетский–Татьяна-2», который был запущен 17 сентября 2009 года (рис. 12). На его борту установлен уже более сложный комплекс приборов, который позволит расширить наши представления об этом новом атмосферном явлении. На рис. 13 приведены первые результаты, полученные на спутнике «Университетский–Татьяна-2» – наблюдение серии транзитных световых событий в ультрафиолетовом и красном диапазонах длин волн.

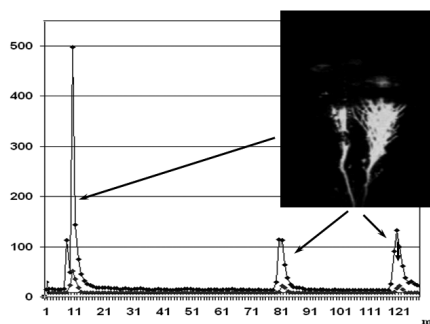


Рис. 13. Первые результаты спутника «Университетский–Татьяна-2»

Заключение

Космофизике в НИИЯФ МГУ уже более 50 лет. За это время коллектив института, работающий в этой области науки, прошел большой путь, ознаменовавшийся достижениями как в экспериментальных, так и в теоретических познаниях физики космического пространства. Получены результаты и в фундаментальных и в прикладных направлениях. Результаты многих исследований успешно реализуются в проектах космических отраслей промышленности. Создан сильный коллектив – научная школа, способная продолжать исследования в этой области, обеспечивая прогресс космических исследований. У космической физики есть перспектива – об этом свидетельствуют многие результаты последних исследований, нуждающиеся в дальнейшем изучении.

У истоков этих исследований и школы ученых стоял замечательный советский физик, один из пионеров изучения космического пространства – Сергей Николаевич Вернов. Мы всегда будем помнить ту выдающуюся роль, которую он сыграл в становлении этой науки и формировании научного коллектива, добившегося в этом направлении значительных результатов.

С.Н. ВЕРНОВ – ПИОНЕР ИССЛЕДОВАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

Г.А. Базилевская, Ю.И. Стожков

*Долгопрудненская научная станция им. С.Н. Вернова
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН*

В статье дан исторический обзор исследований космических лучей в земной атмосфере, инициированных и возглавляемых С.Н. Верновым более 50 лет. Представлены основные результаты этих исследований, которые включают в себя изучение природы первичных космических лучей, процессов взаимодействия космических частиц в атмосфере Земли, а также модуляционных эффектов космических лучей и их роли в атмосферных процессах.

Введение

Сергей Николаевич Вернов всю свою жизнь посвятил изучению космических лучей (КЛ). Он начал свою деятельность в 30-х годах прошлого столетия с исследования КЛ в земной атмосфере и был первым исследователем КЛ в космическом пространстве. Его интересы охватывали все аспекты физики КЛ (ядерное, космофизическое и астрофизическое направления) и весь энергетический спектр КЛ энергий от $\sim 10^5$ до 10^{20} эВ. Он был бесспорным лидером всех исследований КЛ в Советском Союзе. Под его руководством в Московском университете и в Якутске были созданы крупнейшие установки по изучению широких атмосферных ливней (ШАЛ), генерируемых в атмосфере частицами сверхвысоких энергий.

В 1946 г. С.Н. Верновым была организована в городе Долгопрудном научная станция ФИАН, носящая теперь его имя. В 1957 г., к началу Международного геофизического года, совместно с директором ИЗМИРАН Н.В. Пушковым им была создана сеть наземных и стратосферных станций для исследования модуляционных эффектов в КЛ и их связи с солнечной активностью. Эти станции, которые начали постоянные измерения КЛ, были расположены по всей территории СССР, включая полярные районы, Сибирь и Дальний Восток. Начиная с 1963 г. такие измерения проводят в Антарктиде. С.Н. Вернов отчетливо понимал важность непрерывных наблюдений КЛ, добивался финансирования этого направления и требовал от сотрудников поддержания непрерывности и однородности данных наблюдений. Созданная им в СССР сеть станций успешно функционирует и

в настоящее время, а востребованность получаемых ими данных возрастает с каждым годом.

Деятельность С.Н. Вернова можно разделить на несколько этапов. Период с 1933 по 1946 гг. был посвящен исследованию природы КЛ (являются первичные КЛ нейтральным излучением, протонами или электронами) и первым попыткам понять процессы взаимодействия КЛ с веществом. Вторым периодом охватывает 1946–1957 годы. К этому времени было установлено, что КЛ – это в основном протоны, и началось интенсивное изучение ядерных взаимодействий КЛ с веществом. Было неясно, применимы ли законы, найденные при изучении радиоактивности, т. е. при энергиях не более нескольких МэВ, к частицам КЛ значительно больших энергий. В то время ускорительная техника находилась в зачаточном состоянии. Первый циклотрон, построенный Э. Лоуренсом в 1931 г., разгонял протоны всего до 0,08 МэВ. Это направление было необходимо для разработки и создания ядерного оружия в нашей стране. Третий период начался в 1957 г. и ознаменовался созданием крупных установок по изучению ШАЛ, созданием сети станций для непрерывного мониторинга КЛ и началом крупномасштабных исследований космического излучения вне земной атмосферы.

В настоящей статье будут рассмотрены работы по исследованию КЛ в атмосфере, выполненные непосредственно С.Н. Верновым или под его руководством.

Начальный период исследования космических лучей в атмосфере – изучение природы первичных космических лучей

В конце 20-х годов прошлого столетия о КЛ было известно, что они приходят на Землю извне и обладают огромной энергией. Ничего не было известно о природе и происхождении КЛ, об их энергетическом спектре, об их прохождении через атмосферу. Проблемой КЛ занимались такие выдающиеся ученые, как В.Ф. Гесс, Р.А. Милликен, А.Х. Комптон, Д.В. Скобельцын и др. С.Н. Вернов, еще будучи студентом Ленинградского политехнического института (1929), начал заниматься научной работой, связанной с ядерной физикой, в Государственном Радиовом институте. Его первая публикация «Продолжительность и характеристики разряда в счетчиках Гайгера–Мюллера» была доложена на ученом совете и опубликована в Трудах института (Вернов, 1931). В Радиовом институте, в аспирантуру которого С.Н. Вернов поступил в 1931 г., Л.В. Мысовский и Л.Р. Тувим изучали характеристики КЛ, пользуясь водонапорной башней политехнического института. Им удалось обнаружить зависимость интенсивности космических лучей от давления воздуха (барометрический эффект). Но они не нашли зависимости от азимутального угла прихода излучения, что, по-видимому, указывало на его электромагнитную природу (Myssowsky und Tuwim, 1926).

К началу 1930-х годов стало ясно, что КЛ претерпевают сложные взаимодействия в атмосфере Земли и для их изучения нужно поднимать аппаратуру как можно выше. Значение, которое придавалось исследованиям в стратосфере, можно видеть из того факта, что в 1933 г. была создана специальная комиссия по изучению стратосферы под руководством С.И. Вавилова. С.Н. Вернов был ученым секретарем, а впоследствии председателем комиссии.

Измерения на шарах-зондах до высоты 28 км были выполнены в 1931–1933 гг. Е. Регенером (Regener, 1933; Regener and Pfozter, 1935), но после полета приборы приходилось разыскивать с большими трудностями. С.Н. Вернов предложил передавать результаты измерений по радио. Он разработал радиозонд КЛ, основываясь на метеорологическом зонде, изобретенном в 1930 г. профессором П.А. Молчановым, который консультировал молодого аспиранта. Детектирующим элементом были счетчики Гейгера–Мюллера. Разработанная конструкция была доложена в апреле 1934 г. на 1-й Всесоюзной конференции по изучению стратосферы и опубликована в Труды конференции (Вернов, 1935). В резолюциях конференции были впервые намечены направления исследований КЛ в атмосфере (1934). Пробный полет аппаратуры для регистрации КЛ, которая весила 28,6 кг, был совершен на самолете в июне 1934 г., а первый полет автостратостата состоялся в апреле 1935 г. в городе Слуцке Ленинградской области, где находился Институт аэрологии. Установка достигла высоты 13 600 м. На рис. 1 показан первый прибор С.Н. Вернова для измерения КЛ в атмосфере.

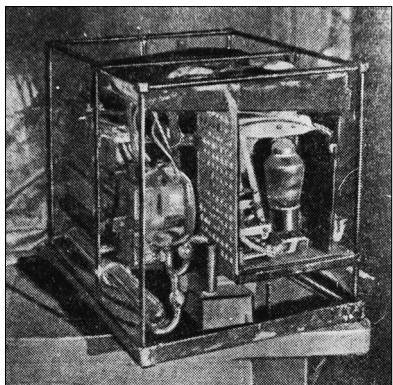


Рис. 1. Первый прибор для измерения потоков КЛ в атмосфере Земли, разработанный С.Н. Верновым



Рис. 2. Наполнение оболочек для одного из первых запусков в атмосферу аппаратуры, измеряющей поток заряженных частиц

Измерения в стратосфере были связаны с немалыми методическими трудностями. На высотах более нескольких километров температура опускается ниже -50° , но, с другой стороны, аппаратура внутри зонда нагрева-

ется за счет солнечной радиации. Зонды снабжались терморегуляторами, использовались химические источники тепла, температура внутри зонда определялась экспериментально. В результате большой работы Сергей Николаевич добился того, что температура внутри прибора поддерживалась постоянной с точностью до $(3-5)^{\circ}\text{C}$. Тем не менее были подобраны источники питания и счетчики, мало зависящие от температуры. Радиосигналы принимались на расстояниях до 150 км. Они фиксировались на слух, но также дублировались на шоринофоне – приборе для механической записи звука на киноленту. На рис. 2 показан момент наполнения оболочек для подъема в атмосферу одного из первых приборов, сконструированных С.Н. Верновым. Результаты первых экспериментов в стратосфере были опубликованы в «*Physical Review*» и в «*Nature*» (Vernov, 1934; Vernoff, 1935). В 1936 г., уже работая в Физическом институте АН СССР, С.Н. Вернов защитил кандидатскую диссертацию на тему «Метод изучения космических лучей с помощью радиозондов».

К началу 1930-х годов имелись веские основания полагать, что КЛ состоят из заряженных частиц. В этом случае их потоки должны зависеть от напряженности геомагнитного поля, т. е. от геомагнитной широты места наблюдения. Измерения широтного эффекта КЛ проводились С.Н. Верновым в 1936–1938 гг. К этому времени было выполнено уже несколько экспериментов, но их результаты были противоречивы (Clay, 1932; Clay et al., 1934; Compton, 1932, Compton et al., 1934; Bowen et al., 1937).

Измерения С.Н. Вернова были проведены в Ленинграде (1935–1936), Ереване (1936) и во время рейса теплохода «Серго Орджоникидзе» из Черного моря на Дальний Восток и обратно (1937–1938). При проведении морской экспедиции пришлось преодолеть большие трудности. Вследствие сильных грозových разрядов в районах Малаккского пролива, которые мешали проведению экспериментов, большинство полетов было выполнено в Индийском океане. В экваториальных районах удалось осуществить пять удачных полетов на магнитных широтах 7, 2, 4, 5 и 14° . Максимальная высота, достигнутая в полетах, составляла 20 км. Значительные экспериментальные трудности возникали также из-за очень большой влажности в тропиках. Влажность была настолько велика, что в радиолампах возникали утечки и лампы отказывались работать. В связи с этим пришлось снимать цоколи с радиоламп.

В результате этих измерений было обнаружено, что интенсивность КЛ в стратосфере вблизи экватора в 4 раза меньше, чем на высоких широтах. Эти результаты хорошо согласовывались с данными, полученными практически одновременно группой Милликена (Bowen et al., 1938). Результаты изучения широтного эффекта были опубликованы в работах С.Н. Вернова за 1937–1939 годы (Вернов, 1937; 1938; 1939a; Вернов и Миронов, 1939).

Наблюдения КЛ в стратосфере дали большой экспериментальный материал для проверки тогда только зарождающейся каскадной теории (Bethe and Heitler, 1934; Bhaba and Heitler, 1937; Landau and Rumer, 1938). С.Н. Вернов снял ряд противоречий между экспериментом и теорией, выявив большую роль частиц малых энергий в спектре каскадных электронов и важность учета рассеяния частиц, когда каскад развивается в веществе с большим атомным номером. Его экспериментальные данные и расчеты послужили отправным пунктом в создании И.Е. Таммом и С.З. Беленьким теории каскадных процессов в тяжелых и легких элементах (Tamm and Belenky, 1946). Важное значение для понимания развития электронно-фотонного каскада имело предложенное С.Н. Верновым объяснение эффекта, возникающего при переходе излучения из вещества с малым атомным номером в вещество с большим атомным номером (Вернов, 1939б, 1939в). Переходный эффект в дальнейшем широко использовался для идентификации электронно-фотонной компоненты КЛ.

В те же годы С.Н. Верновым был применен¹ интегральный метод изучения энергетического спектра КЛ, в котором интенсивность КЛ оценивается интегралом переходной кривой излучения в атмосфере, а пороговая энергия задается геомагнитным обрезанием. В дальнейшем интегральный метод был использован учениками Сергея Николаевича при разработке ионизационного калориметра.

Результаты исследований Сергея Николаевича были обобщены в его докторской диссертации, защищенной в 1939 г. и опубликованной в Труды ФИАН (Вернов, 1945). В этой работе С.Н. Вернов пришел к выводу, что первичные КЛ состоят из электронов. Однако в 1940 г. группа Шайна (Schein et al., 1941) провела измерения высотного хода потоков мюонов в стратосфере, которые опровергали электронную гипотезу. Окончательное решение о природе первичного космического излучения требовало проверки ожидаемого восточно-западного эффекта в приходе КЛ на Землю, который в случае первичного протонного состава должен приводить к избыточным потокам частиц с западного направления по сравнению с восточным. Попытки измерения восточно-западного эффекта предпринимались начиная с 1933 г. (Johnson, 1938), но к середине 1940-х годов все еще не было точных количественных значений.

В 1949 г. С.Н. Вернов организовал морскую экспедицию в Индийском океане, Южно-Китайском и Японском морях для изучения восточно-западного эффекта КЛ (Мурзин, 1995; Кузнецов, 2004). В работу были вовлечены сотрудники ФИАН и НИФИ-2 (будущего НИИЯФ МГУ), начальником экс-

¹ Первоначальная идея, что площадь под кривой, изображающей ионизацию как функцию толщины вещества, соответствует полной энергии процесса, принадлежит, по-видимому, Д.В. Скобелевну (Теплов, Чудаков, 1987).

педиции был Н.А. Добротин, руководителем эксперимента – Н.Л. Григоров. Главная трудность состояла в необходимости точно знать ориентацию прибора в полете. Такая аппаратура с фотоэлементом для ориентации на Солнце была создана в НИФИ-2. В экваториальных широтах измерялся высотный ход излучения, приходящего с разных зенитных направлений. Конструкция прибора позволяла одновременно измерять азимутальную асимметрию и



Рис. 3. С.Н. Вернов и Н.А. Добротин на борту теплохода «Витязь»

получать, таким образом, полную картину распределения заряженных частиц в стратосфере по зенитным и азимутальным углам. Кроме того, исследовались ядерно-активная и ливнеобразующая компоненты КЛ. В стратосфере потоки частиц с запада были на 70% выше, чем с востока, что окончательно доказало наличие положительного заряда у первичных КЛ (Вернов и др., 1949; Вернов и др., 1952). Во время экспе-

диции был определен поток протонов на границе атмосферы в экваториальных широтах. На рис. 3 С.Н. Вернов и Н.А. Добротин на борту теплохода «Витязь» перед отплытием.

Исследования взаимодействий космических лучей и состава космического излучения в стратосфере

В годы Великой Отечественной войны С.Н. Вернов был занят решением важных задач по оборонной тематике. Сразу после войны он начал большой цикл исследований КЛ в стратосфере, задачей которого было изучение состава вторичных КЛ на разных высотах и взаимодействий КЛ с легкими и тяжелыми веществами. Эти работы проводились в Московской области, где с 1946 г. началось строительство Долгопрудненской научной станции ФИАН (Постановление СНК СССР от 4 марта 1946 г.). С 1996 г. эта станция носит имя С.Н. Вернова. Некоторая часть измерений проводилась с помощью пилотируемых субстратостатов, запускаемых с летного поля Центральной аэрологической обсерватории (г. Долгопрудный) до высот 8–10 км, но большинство исследований было выполнено на шарах-зондах, которые собирались в гирлянды по несколько десятков шаров, поднимавшихся до высот 20–25 км. В этих экспериментах аппаратура, весившая до 100 кг, была полностью автоматизирована, а результаты измерений передавались по радио. Рис. 4 воспроизводит момент подъема прибора в атмосферу.

В конце 1940-х годов С.Н. Вернов выполнил серию опытов по изучению поглощения первичных протонов и генерации вторичной компоненты, в частности электронно-фотонной. Эти работы выполнялись совместно сотрудниками ФИАН и НИФИ-2 МГУ. В этот период под руководством Сергея Николаевича были разработаны уникальные приборы, не имевшие в то время аналогов в мире. С их помощью изучались электронно-фотонная, мюонная и ливнеобразующая компоненты, а также компонента, ответственная за ядерные расщепления.

Были сконструированы тонкостенные ионизационные камеры (внутренний диаметр 8 см, толщина стенок 0,5–1 мм алюминия), которые в ходе полета радиозонда вдвигались в сферический свинцовый панцирь толщиной в 1 см и выдвигались из панциря на расстояние 27 см (Вернов и др., 1947, 1948).

В других опытах заряженные частицы измерялись миниатюрным счетчиком (длина 12–17 мм, диаметр 0,7 см), который в течение полета автоматически последовательно окружался со всех сторон свинцовым панцирем различной толщины от 1 до 4 см (Бриккер и др., 1947; Бриккер и др., 1948).

Использовались также счетчиковые телескопы (длина счетчика 14 см, диаметр 3 см), в которых поглотители разной толщины (1, 4 и 8 см свинца и 4 см алюминия) автоматически менялись каждые 3–5 мин. Таким образом, был получен высотный ход мягкой, проникающей и ливнеобразующей компонент КЛ в атмосфере (Алексеева, Вернов, 1948, 1949; Барадзей и др., 1948).

Наиболее сложный и тяжелый прибор представлял собой годоскоп из большого числа газоразрядных счетчиков, которые позволяли фиксировать структуру ливней, образованных в плотном веществе (рис. 5). Данные о структуре каждого ливня передавались по радио и записывались на ки-

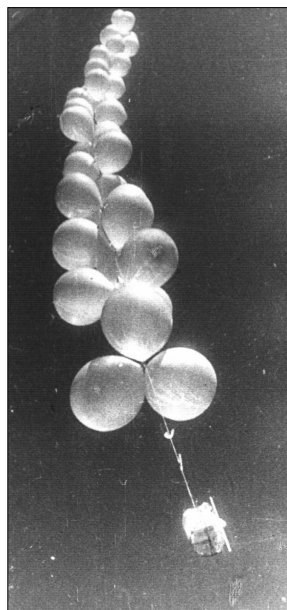


Рис. 4. Гирлянда шаров, поднимающих в атмосферу тяжелый прибор для изучения КЛ

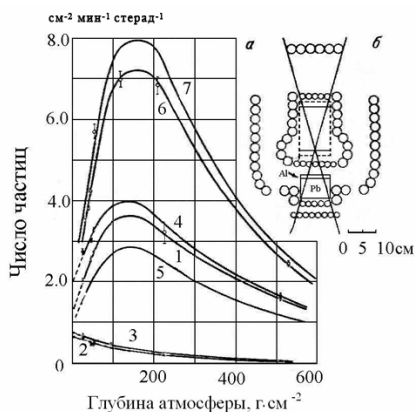


Рис. 5. Схема прибора и результаты измерений высотного хода различных компонент КЛ (Алексеева и др., 1957)

ноленту (Вернов, Чарахчян, 1948, 1949, 1953; Алексеева и др., 1957). Результаты этих работ подтвердили существование электронно-ядерных ливней, открытых на Памире в 1946 г. Теория этих ливней была развита Г.Т. Зацепиным (Зацепин, 1949).

Был разработан оригинальный прибор – телескоп для измерения углового распределения заряженных частиц в стратосфере. При помощи миниатюрного моторчика угол телескопа непрерывно менялся от 0 до 90° и обратно. Полный цикл продолжался около 2 мин (Вернов и Куликов, 1948).

Для понимания природы космических лучей важно было использовать геомагнитное поле как анализатор частиц по их магнитной жесткости. Для этого в 1951, 1953 и 1955 гг. были организованы экспедиции в г. Ош Киргизской ССР (геомагнитная широта 31°), где были выполнены такие же измерения, как и на широте Москвы (51°). Руководителями экспедиций были А.Н. Чарахчян и Н.Л. Григоров.

В работах 1946–1957 гг., включавших измерения в экспедициях 1949 и 1951–1955 гг., были изучены основные характеристики процессов взаимодействия протонов высоких энергий с атомными ядрами, зависимость этих процессов от энергии в интервале $3 \cdot 10^9$ – $4 \cdot 10^{10}$ эВ. Был определен энергетический спектр генерации пионов в воздухе, получены данные об энергетическом спектре электронов в атмосфере, определен энергетический спектр первичных частиц. Анализ выявил решающую роль ядерных взаимодействий в образовании различных компонент вторичного космического излучения.

С.Н. Верновым был сделан фундаментальный вывод о примерном постоянстве эффективного сечения и коэффициента неупругости при столкновении протонов с ядрами атомов воздуха при энергиях $3 \cdot 10^9$ – $4 \cdot 10^{10}$ эВ. Особенно важным Сергей Николаевич считал относительную малость этой величины – тот факт, что в акте множественного рождения пионов налетающий протон львиную долю энергии оставляет себе (лидирующая частица). Было показано, что энергия, идущая на ядерные расщепления, практически постоянна в каждом акте взаимодействия (около 400 МэВ). Обширный цикл работ 1946–1957 гг. позволил выяснить механизм возникновения в атмосфере вторичного излучения и дать количественное описание этого процесса (Вернов, 1949).

Отличительной чертой С.Н. Вернова было стремление проводить исследования широким фронтом, используя для этого разнообразные методы. В 1947–1951 гг. ему удалось организовать измерения КЛ за пределами атмосферы – на ракетах, поднимавшихся до высот 70–100 км с полигона Капустин Яр. Руководителем экспериментов был А.Е. Чудаков. В этих работах была измерена интенсивность КЛ за пределами атмосферы, обнаружено постоянство потока КЛ в интервале высот 50–100 км над поверхностью Земли, получены первые ограничения на интенсивность потока гамма-излучения с

энергией $\sim 1\text{--}100$ МэВ, измерена ионизирующая способность первичных частиц. К сожалению, из-за секретности, связанной с использованием ракет, результаты этих работ не были опубликованы (Теплов и Чудаков, 1987; Логачев и др., 2004).

В 1951 г. по инициативе С.Н. Вернова на научной базе Долгопрудненской научной станции ФИАН была создана «летающая лаборатория» – специальный самолет, на котором была оборудована многоцелевая установка для изучения КЛ. Самолет летал на высоте 9 и 12 км. Руководителем самолетной группы стал Ю.А. Смородин. В 1951–1957 гг. на самолете была установлена камера Вильсона в магнитном поле, в 1958–1963 гг. – ионизационные камеры, в 1964–1971 гг. – рентген-эмульсионная камера (РЭК) и ливневая установка. В этих экспериментах изучалось взаимодействие КЛ при энергиях до 10^{13} эВ с легкими веществами, в частности сделана попытка подойти к вопросу о строении нуклона, выявлена роль периферических взаимодействий и была обнаружена однородность спектров рождения частиц в ядерных взаимодействиях – масштабная инвариантность.

Хотя в экспедиции 1949 г. было окончательно доказано, что КЛ в основном состоят из положительно заряженных частиц, вопрос о присутствии электронов в первичном космическом излучении оставался открытым. Поэтому при поддержке С.Н. Вернова в 1964–1968 гг. для измерения потоков первичных электронов были предприняты работы на высотных автоматических аэростатах. Светосильные приборы, содержащие телескопы из сцинтилляционных счетчиков со свинцовыми поглотителями, были созданы на Долгопрудненской научной станции и неоднократно поднимались на высоту более 30 км (Рубцов, 1966, 1976). В этих работах, в то время одних из первых, были измерены абсолютные потоки и энергетические спектры первичных электронов до энергий порядка 200 ГэВ.

За цикл работ по изучению взаимодействий КЛ в атмосфере Земли С.Н. Вернов в 1949 г. был удостоен Сталинской премии первой степени, а в 1953 г. был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР.

Космофизическое направление исследований космических лучей

Космические лучи приходят на Землю из космического пространства, и они чутко реагируют на изменение физических условий в гелиосфере. Солнечная активность влияет на магнитное поле в межпланетном пространстве и тем самым модулирует поток КЛ, измеряемый наблюдателем. Поэтому КЛ являются мощным инструментом для изучения динамики солнечной активности и межпланетной среды. В 1935–1936 гг. С. Форбуш начал непрерывную регистрацию КЛ с помощью наземных ионизационных камер. В СССР ионизационные камеры для непрерывных измерений КЛ были сделаны Ю.Г. Шафером и Н.Л. Григоровым под руководством С.Н. Вернова и уста-

новлены в 1949 г. в Якутске и в Москве. В 1957 г., к началу Международного геофизического года, С.Н. Вернов вместе с Н.В. Пушковым создали советскую сеть станций для мониторинга КЛ. Эта сеть является важной составной частью мировой сети нейтронных мониторов, которая успешно работает и в настоящее время.

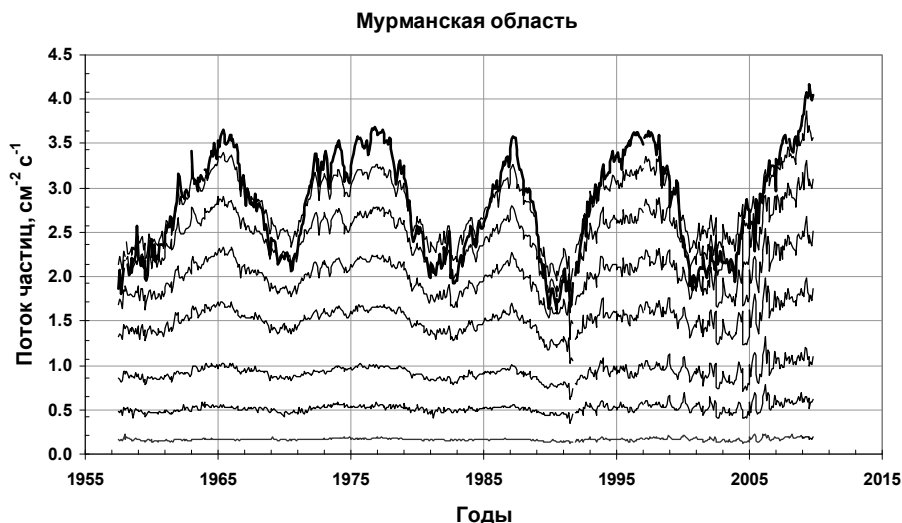


Рис. 6. Временной ход потоков заряженных частиц на разных высотах в атмосфере (сверху вниз): 25–43, 16–20, 15–16, 13–14, 11–12, 9–10, 7–8, 4–5 км

Недостатком наземных установок является то, что они чувствительны к частицам КЛ с энергиями выше нескольких ГэВ, и снизить этот энергетический порог могли только измерения в стратосфере. В 1957 г. С.Н. Вернов и А.Н. Чарахчян начали уникальный эксперимент, в котором потоки КЛ практически ежедневно измерялись (и измеряются по настоящее время) идентичными приборами в нескольких пунктах земного шара. Радиозонд с телескопом из двух счетчиков Гейгера–Мюллера поднимается в атмосферу на метеорологической оболочке и передает на землю информацию о потоках заряженных частиц от уровня моря до высот 30–35 км. Такие измерения были начаты в 1957 г. в Московской и Мурманской областях, в 1962 г. – в Алма-Ате, в 1963 г. – в Антарктиде (обсерватория «Мирный») и продолжают по настоящее время, за исключением Алма-Аты. Этот метод теперь называется методом частого стратосферного зондирования КЛ. В течение всего времени измерений детекторы остаются неизменными и тщательно калибруются, чтобы сохранить однородность экспериментальных данных. В качестве примера на рис. 6 приведены временные зависимости потоков КЛ, измеренные на нескольких высотах атмосферы в Мурманской области.

С.Н. Вернов был руководителем эксперимента по мониторингу КЛ до 1960 г., однако и после этого он принимал активное участие в проведении работы и обсуждении результатов. Многолетние непрерывные измерения с одинаковой аппаратурой неоднократно обвинялись в отсталости и были под угрозой закрытия. Только защита С.Н. Вернова, а после его кончины А.Е. Чудакова, которые прекрасно понимали необходимость и ценность непрерывных измерений, помогла этому эксперименту выжить.

Стратосферное зондирование оказалось очень плодотворным направлением в космофизике КЛ (Вернов и др., 1958, 1960). Вскоре после начала измерений были открыты вспышки солнечных космических лучей в стратосфере. Эти события оказались довольно частым явлением в годы высокой солнечной активности, вопреки убеждениям, сложившимся при наблюдениях на наземных установках (Рымко и др., 1959; Чарахчян и др., 1961). Стратосферные измерения КЛ позволили зарегистрировать 120 вспышек солнечных КЛ с 1958 по 2006 гг. Данные, полученные в стратосферных измерениях, оказались ценными для выяснения механизмов ускорения частиц на Солнце и процессов их распространения в межпланетной среде.

Особую ценность представляют собой уникальные однородные ряды данных о потоках первичных КЛ с жесткостью более 0,5 ГВ и в интервале 0,5–2,5 ГВ, которые представляют наиболее длинные временные ряды данных в мире в низкоэнергичном диапазоне КЛ, так как измерения на спутниках не столь продолжительны и однородны, а наземные измерения относятся к большим энергиям. Важным обстоятельством являются одновременные измерения КЛ в Арктике и Антарктике (Vernov et al., 1965). Изучение этих экспериментальных данных привело к ряду важных результатов, в частности, впервые были показаны влияние общего магнитного поля Солнца на модуляцию КЛ и роль гелиоширотного распределения солнечной активности (Вернов и др., 1975а,б; Чарахчян и др., 1976). За эти работы, идейным вдохновителем которых был С.Н. Вернов, группа его учеников была удостоена в 1976 г. Ленинской премии. Сам Сергей Николаевич получил эту награду раньше, в 1960 г., за открытие и исследование внешнего радиационного пояса Земли.

В настоящее время частое стратосферное зондирование продолжается в полярных и средних широтах, хотя запуски радиозондов сократились до трех раз в неделю в связи с экономическими трудностями. Теперь в полной мере можно оценить прозорливость С.Н. Вернова, организовавшего эти измерения и настаивавшего на их продолжении без изменения детектирующей части зонда. Благодаря его настойчивости мы имеем в настоящее время однородный ряд данных продолжительностью более 50 лет. В 2009 г. был зафиксирован абсолютный максимум потока КЛ за все время их наблюдения. В интервале 0,5–2,5 ГВ этот поток превысил предыдущий

максимум почти на 40%. Эта аномалия в потоках КЛ, хорошо видная на рис. 7, связана с аномально низкой солнечной активностью в 2008–2009 гг. и еще ждет своего детального исследования.



Рис. 7. Временной ход интенсивности космических лучей на границе атмосферы. Верхняя кривая относится к энергиям выше 100 МэВ, нижняя – в интервале энергий 100–1500 МэВ. Пунктирными линиями показан максимальный уровень интенсивности, достигнутый в измерениях 1957–2007 гг.

В последние годы на базе многолетних стратосферных наблюдений началось изучение роли КЛ в атмосферных процессах, в том числе в формировании погоды и климата. Космические лучи являются главным ионизатором воздуха в интервале высот от 3 до 35 км. Данные о потоках заряженных частиц в атмосфере позволили рассчитать сечение ионизации как функцию глубины атмосферы и скорости ионообразования в зависимости от атмосферного давления и геомагнитной жесткости обреза (Stozhkov et al., 2009). Был получен фундаментальный результат, заключающийся в том, что уравнение баланса легких ионов в атмосфере имеет линейную форму, а не квадратичную, как это было описано в ранее опубликованных статьях и монографиях (Ермаков et al., 1997). Космические лучи играют важную роль во всех электрических процессах в атмосфере и в образовании облачности (Ермаков и Стожков, 2003а, б, в).

В настоящее время понимание важности солнечно-земных связей возрастает с каждым годом. Значение КЛ для космической погоды неоспоримо, а их роль в атмосферных процессах и формировании земной погоды и климата становится все яснее. Поэтому мониторинг КЛ, начатый С.Н. Верновым более полувека назад, несомненно, должен продолжаться.

Заключение

Подводя итог, мы видим, что роль Сергея Николаевича Вернова в формировании стратосферного направления исследований КЛ была определяющей. Он стал фактическим инициатором этого направления, построив первый автоматический зонд КЛ. Он внес решающий вклад в определение свойств первичных КЛ и их взаимодействий в атмосфере, организовав цикл измерений в стратосфере с помощью тяжелых приборов в 40–50-е годы прошлого века. В 1957 г. С.Н. Вернов и А.Н. Чарахчян начали измерения потоков КЛ методом частого стратосферного зондирования. Эти наблюдения продолжаются до настоящего времени, и их ценность увеличивается с каждым годом.

Авторы благодарят Елену Сергеевну Вернову за ряд предоставленных материалов.

Литература

- Алексеева К.И., Вернов С.Н. Изучение ливней космических лучей, сопровождающих проникающие частицы. ДАН СССР, 62, 199–202, 1948.
- Алексеева К.И., Вернов С.Н. Изучение поглощения космических лучей в стратосфере. ДАН СССР, 69, 317–319, 1949.
- Алексеева К.И., Бриккер С.И., Григоров Н.Л., Савин Ф.Д., Щербаков Н.А. Определение потока первичных космических частиц на широте 31°. ДАН СССР, 115, 71–76, 1957.
- Барадзей Л.Т., Вернов С.Н., Смородин Ю.А. Исследование мягкой и жесткой компонент КЛ в стратосфере. ДАН СССР, 62, 465–467, 1948.
- Бриккер С.И., Вернов С.Н., Евреинова И.М. и др. ДАН СССР, 57, 141–143, 1947.
- Бриккер С.И., Вернов С.Н., Григоров Н.Л. и др. ДАН СССР, 61, 629–631, 1948.
- Вернов С.Н. Продолжительность и характеристики разряда в счетчиках Гейгера–Мюллера. Труды Государственного Радиового института, 30–41, 1931.
- Вернов С.Н. Применение счетчика Гейгера–Мюллера для изучения космических лучей в стратосфере. Тр. Всесоюз. Конф. по изучению стратосферы (31 марта 1934 г.) Л. М. Изд-во АН СССР. 1935, 423–427.
- Вернов С.Н. Изучение космических лучей в стратосфере на магнитной широте 35°. ДАН СССР, 14, 263–266, 1937.
- Вернов С.Н. Широтный эффект космических лучей в стратосфере. Изв. АН СССР, 5/6, 738–740, 1938б.
- Вернов С.Н. Анализ широтного эффекта космических лучей в стратосфере. ДАН СССР, 23, 141–143, 1939а.
- Вернов С.Н. О переходном максимуме по данным наблюдений на субстратостатах. ДАН СССР, 24, 860–863, 1939б.
- Вернов С.Н. О некоторых расхождениях между опытными данными и выводами каскадной теории Баба–Хейтлера–Эрле. ДАН СССР, 24, 864–868, 1939в.
- Вернов С.Н. Широтный эффект космических лучей в стратосфере и проверка каскадной теории. Дисс. На соискание степени д.ф.-м.н., 1939. Труды ФИАН, 3, вып. 1, 25–114, 1945.
- Вернов С.Н. Изучение взаимодействия первичной компоненты космических лучей с веществом в стратосфере. ЖЭТФ, 19, 622–626, 1949.

- Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Савин Ф.Д. Изучение переходного эффекта космических лучей в стратосфере при помощи ионизационной камеры. ДАН СССР, 57, 137–139, 1947.
- Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Савин Ф.Д. Измерение толчков, создаваемых космическими лучами в стратосфере, с помощью ионизационной камеры. ДАН СССР, 62, 815–816, 1948.
- Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Добротин Н.А. и др. Определение знака заряда первичных частиц космических лучей по измерениям азимутальной асимметрии в стратосфере и районе экватора. ДАН СССР, 68, 253–255, 1949.
- Вернов С.Н., Куликов А.М. Угловое распределение космических частиц в стратосфере. ДАН СССР, 61, 1013–1015, 1948.
- Вернов С.Н., Миронов А.В. Изучение космических лучей в стратосфере вблизи магнитного экватора. ДАН СССР, 23, 138–140, 1939.
- Вернов С.Н., Куликов А.М., Чарахчян А.Н. Азимутальная асимметрия космических лучей в стратосфере. ДАН СССР, 85, 525–528, 1952.
- Вернов С.Н., Тулинов В.Ф., Чарахчян А.Н. 27-дневные вариации интенсивности космических лучей в стратосфере. ДАН СССР, 121, 788–791, 1958.
- Вернов С.Н., Самосудов Б.Е., Тулинов В.Ф., Чарахчян А.Н., Чарахчян Т.Н. Исследование вариаций интенсивности космического излучения в стратосфере. В кн.: Труды Международной конференции по космическим лучам, Москва, 1959. М.: Изд-во АН СССР, 4, 49–60, 1960.
- Вернов С.Н., Чарахчян А.Н. Исследование с помощью годоскопа ливней частиц, образованных в свинце космическими лучами в стратосфере. ДАН СССР, 62, 319–321, 1948.
- Вернов С.Н., Чарахчян А.Н. Исследование структуры ливней, создаваемых первичными космическими лучами в стратосфере. ДАН СССР, 69, 523–525, 1949.
- Вернов С.Н., Чарахчян А.Н. Исследования электронно-ядерных ливней и проникающих частиц в стратосфере на различных широтах. ДАН СССР, 91, 487–490, 1953.
- Вернов С.Н., Чарахчян А.Н., Стожков Ю.И., Чарахчян Т.Н. Одиннадцатилетний цикл космических лучей и общее магнитное поле Солнца. Изв. АН СССР, сер. физ., 39(2), 316–324, 1975а.
- Вернов С.Н., Чарахчян А.Н., Базилевская Г.А., Стожков Ю.И., Чарахчян Т.Н. Аномалии 11-летнего цикла космических лучей. В кн.: VII Ленинградский Междунар. семинар «Корпускулярные потоки Солнца и радиационные пояса Земли и Юпитера». Л.: ЛИЯФ, 389–398, 1975б.
- Ермаков В.И., Стожков Ю.И. Космические лучи в механизме образования грозových облаков. Краткие сообщения по физике. М.: ФИАН, № 1, 23–35, 2003а.
- Ермаков В.И., Стожков Ю.И. Влияние активных областей Солнца на глобальную грозovou активность и погоду на Земле. Краткие сообщения по физике. М.: ФИАН, № 3, 9–25, 2003б.
- Ермаков В.И., Стожков Ю.И. Роль космических лучей в образовании молний. Краткие сообщения по физике. М.: ФИАН, № 9, 43–50, 2003в.
- Зацепин Г.Т. ДАН СССР, 57, 993–997, 1949 Ядерно-каскадный процесс и его роль в развитии широких атмосферных ливней.
- Кузнецов О.А. Тайный рейс «Витязя» Вестник РАН, 74(1), 68, 2004.
- Логачев Ю.И., Панасюк М.И., Стожков Ю.И. Сергей Николаевич Вернов и космические лучи. В сб. «Академик С.Н. Вернов – ученый Московского университета». Изд-во МГУ, М., 2004, 16–18.
- Мурзин В.С. Воспоминания о Сергее Николаевиче Вернове. В сб. «Воспоминания об академиках Д.В. Скобельцыне и С.Н.Вернове», М. Изд-во МГУ, М., 1995, 68–78.
- Резолюции Всесоюзной конференции по изучению стратосферы. Изд. АН СССР, 1934, 10–11.
- Рубцов В.И. Измерения интенсивности электронов в первичных космических лучах. Изв. АН СССР, сер. физ., 30(11), 111789–1790, 1966.

- Рубцов В.И. Электронная компонента первичных космических лучей высоких энергий. Труды ФИАН. М.: Наука, 1976, 88, 80–93.
- Рымко Н.П., Тулинов В.Ф., Чарахчян А.Н. Случай большого возрастания интенсивности космического излучения в стратосфере. ЖЭТФ, 36(6), 1687–1689, 1959.
- Теплов И.Б. Чудаков А.Е. Сергей Николаевич Вернов. Проблемы физики космических лучей. Изд-во Наука, М. 1987, 5–14.
- Чарахчян А.Н., Тулинов В.Ф., Чарахчян Т.Н. Некоторые данные о космических лучах от Солнца. Геом. и аэрон., 1(2), 150–152, 1961.
- Чарахчян А.Н., Базилевская Г.А., Стожков Ю.И., Чарахчян Т.Н. Космические лучи в стратосфере и околоземном пространстве в период 19-го и 20-го циклов солнечной активности. Труды ФИАН. М.: Наука, 1976, т. 88, с. 3–50.
- Bhaba H.J. and Heitler W. The Passage of fast Electrons and the Theory of Cosmic Showers. Proc. Roy. Soc. A, 159, 432–458, 1937.
- Bethe H. and Heitler W. On the Stopping of Fast Particles and Creation of Positive Electrons. Proc. Roy. Soc. A, 146, 83–112, 1934.
- Bowen I.S., Millikan R.A., and Neher H.V. Influence of the Earth Magnetic Field on Cosmic Rays up to the Top of the Atmosphere, Phys. Rev., 52, 80–88, 1937.
- Bowen I.S., Millikan R.A., and Neher H.V., New Light on the Nature of the Incoming Cosmic Rays, Phys. Rev., 53, 855–861, 1938.
- Compton A.H., Variation of Cosmic Rays with Latitude. Phys. Rev., 41, 111–113, 1932.
- Compton A.H., Benade J.M., and Ledig P.G., Further Geographic Studies of Cosmic Rays. Phys. Rev., 45, 294 (A), 1934.
- Clay J., The Earth Magnetic Field and the Corpuscular Nature of the Cosmic Radiation. Proc. Roy. Acad. Amst., 35, 3, 1932
- Clay J., van Alpen P.M., and t’Hooft G.G. Magnetic Latitude and Longitude Effects of Cosmic Rays, Physica, 1, 363–382, 829–838, 1934.
- Ermakov V.I., Bazilevskaya G.A., Pokrevsky P.E., Stozhkov Yu.I. Ion balance equation in the atmosphere. Journ. Geophys. Res., 102 (D19), 23413–23419, 1997.
- Johnson T.H. Cosmic Ray Intensity and Geomagnetic Effects, Mod. Phys., 10, No. 4, 194–245, 1938.
- Landau L., Rumer G. The cascade theory of electronic showers. Proc. Roy. Soc. A. 166, N 925., 213–228, 1938.
- Myssowsky L. und Tuwim L. Z. Physik, 36, 615, 1926
- Regener E. The absorption Curve of the Cosmic Radiation and its significance. Physik. Zeits., 34, 306–323, 1933.
- Regener E. and Pfozter G. Vertical Intensity of Cosmic Rays by Threefold Coincidences in the Stratosphere, Nature, 136, 718, 1935.
- Schein M., Jesse W.P., Wollan E.O. The Nature of the Primary Cosmic Radiation and the Origin of the Mesotron. Phys. Rev., 59, 615, 1941.
- Stozhkov Yu.I., Svirzhevsky N.S., Bazilevskaya G.A., Kvashnin A.N., Makhmutov V.S., Svirzhevskaya A.K. Long-term (50 years) measurements of cosmic ray fluxes in the atmosphere. Adv. Space Res., 44(10), 1124–1137, 2009.
- Tamm Ig. and Belenky S., The energy spectrum of cascade electrons. Phys. Rev., 70, 660–646, 1946.
- Vernov S.N. On the Study of Cosmic Rays at the Great Altitudes. Phys. Rev., 46, 822, 1934.
- Vernoff S. Radio-Transmission of Cosmic Ray Data from the Atmosphere. Nature, 135, 1072–1073, 1935.
- Vernov S.N., Charakhtchyan A.N., Babarykin V.K., Bayarevitch V.V., Stozhkov Yu.I., Charakhtchyan T.N. Cosmic ray intensities in the stratosphere over Antarctica and Murmansk. In: Proc. 9th ICRC, London, U. K., 1, p. 517–519, 1965.

ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ И СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ В НИИЯФ МГУ

Н.Н. Калмыков, Г.В. Куликов

НИИ ядерной физики МГУ

Исследование космических лучей является одним из ведущих направлений в НИИЯФ МГУ. Основы этого направления были заложены Д.В. Скобельцыным и С.Н. Верновым, по инициативе которых было развернуто систематическое изучение как характеристик первичных космических лучей (ПКЛ) – их происхождения и механизмов ускорения, энергетических спектров, зарядового состава, анизотропии (астрофизический аспект), – так и характеристик их взаимодействий (ядерно-физический аспект).

За 60 лет существования НИИЯФ МГУ его сотрудниками был получен целый ряд результатов мирового уровня, имевших первостепенное значение для физики космических лучей и во многом определивших ее развитие. История исследований, выполненных до 1997 г., излагалась ранее в обзоре (Зацепин и др., 1998).

Поскольку невозможно охватить в пределах одной статьи все направления исследований, связанных с деятельностью С.Н. Вернова, мы основное внимание уделили тем из них, которые продолжают развиваться в НИИЯФ МГУ в настоящее время.

Мы ограничимся ПКЛ с энергией, превосходящей 10 ГэВ/нуклон, когда можно пренебречь как вкладом частиц, генерируемых на Солнце, так и влиянием магнитных полей Солнца и Земли на интенсивность космических лучей. Проблемы солнечных космических лучей отражены в статье (Панасюк, 2005) в сборнике, посвященном 60-летию НИИЯФ.

Традиционное деление исследований космических лучей на астрофизический и ядерно-физический аспекты нельзя считать абсолютным хотя бы уже потому, что регистрация частиц каким-либо детектором невозможна без знания того, как частица взаимодействует с веществом. Следует отметить, что значение астрофизического аспекта постепенно становится все более существенным. Это обусловлено успехами ускорительной техники, лишившими космические лучи той роли источника частиц высоких энергий, которую они играли длительное время. Конечно, в потоке космических лучей существуют частицы с энергией, превосходящей на много порядков энергию, достигнутую к настоящему времени ускорителями, однако интенсив-

ность потока частиц таких энергий очень низка, что не позволяет использовать их для исследования взаимодействий протонов и ядер с веществом в прямых экспериментах, когда заряд и энергия частиц измеряются непосредственно.

Сказанное не отрицает большой ценности информации, которую можно извлечь, изучая взаимодействия при сверхвысоких энергиях, пока еще недоступных ускорителям, косвенными методами, например путем регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ). Подчеркнем также, что астрофизические исследования в области сверхвысоких энергий требуют определенных предположений о том, как происходят адронные взаимодействия. Такие предположения реализуются в виде феноменологических моделей, параметры которых определяются из ускорительных данных. Это вносит неопределенность в интерпретацию экспериментальных результатов, полученных в космических лучах сверхвысоких энергий, поскольку модельные представления приходится экстраполировать за пределы той области, где они надежно оттестированы.

1. Прямые эксперименты по исследованию спектра и состава ПКЛ

Экспериментальное исследование ПКЛ прямыми методами предполагает возможность непосредственного измерения заряда и энергии первичных частиц. Верхняя граница энергетического диапазона, внутри которого в настоящее время возможно применение прямых методов, составляет примерно 10^{15} эВ. Эта граница определяется исходя из естественного требования достижения минимально приемлемой статистической точности за разумное время осуществления эксперимента.

Как известно, магнитное поле Земли может служить анализатором магнитной жесткости частиц, что позволило в прошлом получить первую информацию относительно энергетического спектра ПКЛ в области приблизительно до 10 ГэВ. Интервал от 10 ГэВ до 10^{15} эВ исследовался при помощи фотоэмульсий, ионизационных калориметров, магнитных спектрометров, рентгеноэмульсионных камер и некоторых других приборов, устанавливаемых на спутниках или поднимаемых на баллонах.

Наиболее точным прибором для измерения энергии частиц в области высоких энергий является ионизационный калориметр, созданный учеными НИИЯФ МГУ (Григоров и др., 1958). Этот прибор, впервые примененный именно в исследованиях по физике космических лучей, активно используется в различных модификациях для изучения ПКЛ (рис. 1). Впервые измерение химического состава и парциальных энергетических спектров космических лучей в широкой области энергий с помощью ионизационного калориметра было реализовано в 1965–1968 гг. на спутниках «Протон-1, 2, 3» (до 10^{14} эВ) и «Протон-4» (до 10^{15} эВ). Однако наиболее надежно в этих экс-

периментах получен спектр всех частиц при энергиях от 10^{11} до $2 \cdot 10^{15}$ эВ (Grigorov et al., 1971), который уже почти 40 лет широко цитируется в литературе, причем достигнутая энергия и статистическая обеспеченность спектра

всех частиц остаются рекордными для прямых экспериментов. Определить химический состав с достаточной точностью в этих экспериментах не удалось из-за искажения сигнала от первичной частицы в зарядовом блоке альбедными частицами из калориметра.

Следующие попытки измерить химический состав были предприняты на спутниках «Сокол-1» и «Сокол-2» (Иваненко и др., 1993). В этих экспериментах использовался калориметр толщиной около шести ядерных пробегов, содержащий 10 слоев секционированных сцинтилляторов. В качестве детекторов для определения заряда легких ядер (протонов, ядер гелия) использовались направленные черенковские счетчики, благодаря чему удалось устранить влияние альбедных частиц. Для определения заряда других ядер использовался тонкий секционированный ненаправленный черенковский детектор.

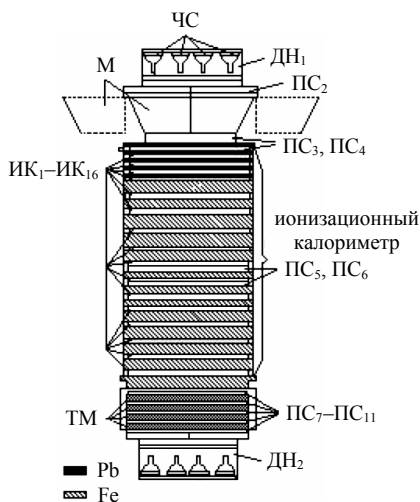


Рис. 1. Принципиальная схема спектрометра ИК-15 для изучения частиц космических лучей высокой энергии: М – сменные графитовые и полиэтиленовые мишени; ЧС – черенковские счетчики; ТМ – тонкие мишени из графита; ДН – детекторы заряда и направления частиц; ИК – ионизационные камеры; ПС – пропорциональные счетчики

тор. Были измерены спектры протонов, ядер гелия и более тяжелых ядер в области энергий от 2 до 100 ТэВ.

В 1960-х годах для исследования энергетических спектров и взаимодействий частиц в области энергий более 1 ТэВ стали применять рентгеноэмульсионные камеры (РЭК), которые можно рассматривать как пассивные калориметры, интегрально регистрирующие события без разрешения во времени. При активном содействии С.Н. Вернова в НИИЯФ МГУ под руководством Г.Т. Зацепина и И.В. Ракобольской в 1968 г. была создана крупномасштабная подземная установка из 146 глубоких свинцовых камер для измерения зенитно-углового и энергетического распределений мюонов с энергией выше 2 ТэВ (Аминева и др., 1975). Измеренное зенитно-угловое распределение оказалось в согласии с обычными представлениями о рождении мюонов через распад пионов (~ 80%) и каонов (20%) при энергии мюонов от 2 до 6 ТэВ. Однако при более высоких энергиях мюонов становится замет-

ным вклад распадов короткоживущих частиц; проведенный анализ позволил получить оценку сечения рождения чарма $1,7 \pm 0,05$ мб/нуклон при энергии первичных нуклонов 100 ТэВ. Кроме того, был измерен показатель спектра первичных нуклонов, оказавшийся равным $1,64 \pm 0,05$ в энергетическом интервале 20–400 ТэВ (Зацепин и др., 1994).

В 1971 г. возникла коллаборация ПАМИР (Байбурина и др., 1984), в работе которой НИИЯФ МГУ принял самое активное участие (см. разд. 3).

В связи с развитием метода эмульсионных камер стали возможны длительные полеты, обеспечивающие большую экспозицию. Модернизированная рентгеноэмульсионная техника была использована для исследования зарядового состава ПКЛ в эксперименте MUBEE (Зацепин и др., 1994). В серии из восьми баллонных полетов на высотах 32 км экспонировались эмульсионные камеры, содержавшие наряду с рентгеновскими пленками для измерения энергии дополнительные слои ядерных эмульсий для измерения заряда первичных ядер. В течение 860-часовой экспозиции удалось зарегистрировать более 800 каскадов, образованных первичными частицами с энергией более 10 ТэВ, что позволило измерить их энергетические спектры в диапазоне энергий 10–100 ТэВ. В этой серии экспериментов, как и ранее на спутниках серии «Протон», было получено указание на различие показателей степени спектров протонов и ядер с $Z > 2$.

В 1995–1999 гг. НИИЯФ МГУ совместно с Физическим институтом РАН провел серию экспозиций рентгеноэмульсионных камер новой конструкции

в рамках совместного Российско-японского проекта RUNJOB, цель которого состояла в изучении зарядового состава и энергетических спектров ПКЛ в области энергий от 10 ТэВ до нескольких сотен ТэВ (RUNJOB collaboration, 2001).

Камера площадью $0,4 \text{ м}^2$ состояла из мишени, где происходило взаимодействие частиц, спейсера – блока легкого вещества, предназначенного для увеличения расхождения вторич-

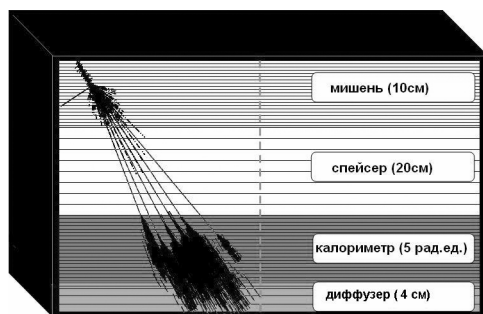


Рис. 2. Рентгеноэмульсионная камера эксперимента RUNJOB

ных частиц, тонкого свинцового калориметра и диффузера – блока легкого вещества для регистрации продолжения каскадной кривой после выхода из калориметра (рис. 2).

Было выполнено 10 полетов на баллонах от Камчатки до бассейна Волги на высоте 28–34 км. Полная экспозиция составила $575 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}$. Обработка и анализ данных проводились параллельно в России и Японии по скоордини-

рованной программе. Для более точного определения энергии были применены методы, основанные на измерении углов вылета фрагментов ядерно-ядерных взаимодействий и пионов в протон-ядерных взаимодействиях. Получены спектры протонов, ядер гелия, ядер групп CNO, Ne–Mg–Si, железа и спектр всех частиц (Derbina et al., 2005). Спектр протонов в области 10^{13} – 10^{15} эВ хорошо согласуется с данными прямых экспериментов JACEE и «Сокол». Интенсивность ядер гелия, групп CNO, Ne–Mg–Si и железа, а также спектра всех частиц оказалась несколько ниже интенсивности, полученной в экспериментах JACEE, «Сокол» и «Протон».

Принципиальным недостатком эмульсионных экспериментов является высокий энергетический порог в рентгеноэмульсионных камерах. В связи с этим в НИИЯФ МГУ были начаты новые эксперименты с использованием тонких калориметров с электронным съемом информации, первый из которых был проведен в 1994 г. совместно с учеными США. В нем использовался тонкий ионизационный калориметр (ТИК) без детектора заряда, и цель эксперимента состояла в измерении спектра всех частиц в области энергий от 100 ГэВ до 100 ТэВ. Анализ полученных данных позволил заключить, что спектр всех частиц не описывается в рамках предположения о том, что все компоненты в области высоких энергий имеют один и тот же наклон спектра (Adams, 1997).

Значительный прогресс в изучении энергетического спектра и массового заряда ПКЛ был достигнут в эксперименте АТИК, выполненным НИИЯФ МГУ в сотрудничестве с учеными США, Южной Кореи и Германии. Балонный эксперимент АТИК предназначен для измерения состава и энергетических спектров в диапазоне энергий от $5 \cdot 10^{10}$ до $\sim 10^{14}$ эВ на частицу с поэлементным разрешением по заряду от протонов до железа.

В эксперименте АТИК сотрудниками НИИЯФ разработан и построен детектор заряда, способный давать неискаженную информацию о заряде каждой частицы в условиях большого потока рассеянных назад вторичных частиц из калориметра. Спектрометр АТИК состоит из кремниевой матрицы для определения заряда первичной частицы размером 1×1 м (около 5 тысяч ячеек размером $2 \times 1,5$ см), графитовой мишени, сцинтилляционных годоскопов и полностью активного ВГО-калориметра (калориметр тонкий, т.е. регистрируется только часть энергии первичной частицы).

Прибор АТИК совершил три стратосферных полета вокруг Южного полюса в период 2000–2008 гг. Общая продолжительность полетов составила около 50 суток.

Основные научные результаты получены по данным полета АТИК-2 (2002–2003). Данные последнего полета – в стадии обработки (Панов и др., 2009). Сделан вывод о различном среднем наклоне спектров протонов и гелия: спектр гелия более пологий. Также отмечается, что спектр протонов не описывается единым степенным законом: начиная с энергий более 1 ТэВ

спектр становится более пологим, чем при низких энергиях, а затем в области энергий более 10 ТэВ делается заметно круче. Измерены энергетические спектры ядер C, O, N_e, Mg, Si и Fe. Спектры всех частиц измерены в диапазоне энергий от $2 \cdot 10^{11}$ до $1,5 \cdot 10^{14}$ эВ.

Данные о массовом составе указывают на сложную структуру его зависимости от энергии космических лучей.

Обнаружен также избыток в потоке галактических электронов в области энергий более 200 ГэВ.

2. Исследования ПКЛ в области сверхвысоких энергий методом ШАЛ

Последние десятилетия XX века ознаменовались значительным усилением интереса к проблеме выяснения природы излома в энергетическом спектре ПКЛ при энергии $3 \cdot 10^{15}$ эВ, зарегистрированного в качестве открытия (Диплом № 84, 1970). Авторы открытия С.Н. Вернов, Г.Б. Христиансен, Г.В. Куликов, В.И. Соловьева, А.Т. Абросимов, Б.А. Хренов (рис. 3). Определяющий вклад в этот результат был сделан благодаря данным установки ШАЛ МГУ, созданной в 1950-е годы по инициативе и под руководством С.Н. Вернова.



Рис. 3. Авторы открытия (слева направо):
В.И. Соловьева, С.Н. Вернов, Б.А. Хренов, Г.В. Куликов,
Г.Б. Христиансен, А.Т. Абросимов

Открытие излома в энергетическом спектре первичных космических лучей – это один из главных результатов в области физики космических лучей сверхвысоких энергий. Оно привело к стимулированию исследований в этом направлении во многих ведущих лабораториях мира. В настоящее вре-

муществование излома в спектре первичного космического излучения при энергии около $3 \cdot 10^{15}$ эВ подтверждено работами многих лабораторий мира, однако интерпретация природы излома до сих пор остается актуальной задачей и продолжает широко обсуждаться на международных конференциях. Исследования в этой традиционной для института области продолжались и в течение последующих лет.

По данным установки ШАЛ МГУ с использованием современных кварк-глюонных моделей определен энергетический спектр ПКЛ путем пересчета от спектров ШАЛ по числу электронов и по числу мюонов с энергией выше 10 ГэВ (Fomin et al., 1991). Результаты пересчета хорошо согласуются с энергетическим спектром, полученным на установке Тунка-25 с применением черенковской методики (Korosteleva et al., 2007), и данными эксперимента KASCADE (Antoni et al., 2005) (рис. 4). Расхождение данных по интенсивности (менее 20%), вероятнее всего, связано с различием в энергетической калибровке, не превышающим 10%. Величина изменения показателя энергетического спектра при энергии $\sim 3 \cdot 10^{15}$ эВ соответствует общепринятым представлениям ($\Delta\gamma = 0,4-0,5$).

Установка Тунка-25 предназначена для детального исследования энергетического спектра и массового состава первичных космических лучей в диапазоне энергий $10^{14}-10^{17}$ эВ путем регистрации черенковского излучения ШАЛ. Установка расположена в Тункинской долине, в 150 км от Иркутска, на полигоне Иркутского госуниверситета. Установка имела площадь около $0,1 \text{ км}^2$ и состояла из 25 оптических детекторов на

базе фотоприемника «Квазар-370», предназначенных для регистрации черенковского излучения, и четырех детекторов на базе ФЭУ D668 (Торн-ЕМИ) для изучения формы импульса этого излучения. Идея использования формы черенковского импульса для анализа продольного развития ШАЛ была предложена в НИИЯФ МГУ (Фомин, Христиансен, 1971). Совместная информация о функции пространственного распределения черенковского света и длительности импульса на большом (200–300 м) расстоянии от оси ливня существенно улучшает возможности установки для исследования состава ПКЛ. Для обеспечения сравнения с данными об энергетическом спектре и массовом составе ПКЛ, полученными прямыми методами (см. предыдущий раздел), энергетический порог регистрации ливней был уменьшен за счет применения специальных мер. Использование черенковской методики по-

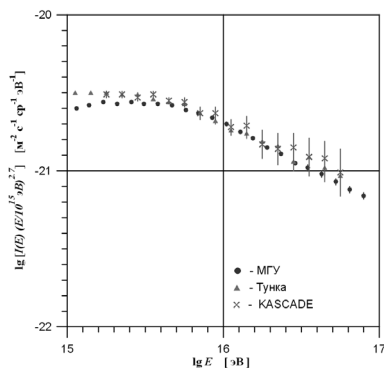


Рис. 4. Энергетический спектр первичных космических лучей

звояет получить результаты, модельная зависимость которых является минимальной, поскольку черенковское излучение собирается со всего пути, пройденного заряженными частицами ШАЛ в атмосфере, играющей роль своего рода калориметра. Оценка погрешности определения энергии составляет 12% для диапазона энергий 10^{15} – 10^{17} эВ и зенитных углов от 0 до 25° .

Массовый состав ПКЛ определяется по результатам измерения глубин максимумов развития ШАЛ, поскольку при заданной энергии глубина логарифмически зависит от массы ядра, породившего ливень. Точность определения глубины максимума составляет около $30 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$. По данным о глубинах максимума ливня в области 10^{15} – 10^{16} эВ, средний логарифм массового числа ($\langle \ln A \rangle$) в этой области энергий примерно равен 1,75. При дальнейшем росте энергии наблюдается быстрое утяжеление состава. Утяжеление состава при энергиях выше 10^{16} эВ наблюдается практически во всех экспериментах, однако разброс в данных очень велик.

В 2004 г. на установке Тунка введен в эксплуатацию первый водный черенковский детектор для регистрации заряженных частиц и гамма-квантов в составе ШАЛ. Детектор имеет площадь около 10 м^2 и высоту 1 м. При энергии выше 10^{16} эВ совместная работа установки Тунка и водных черенковских детекторов позволит существенно уточнить поведение массового состава ПКЛ.

В сентябре 2009 г. коллаборация Тунка (НИИЯФ МГУ, НИИПФ ИГУ, ИЯИ РАН, ИЗМИРАН, Туринский университет (Италия) и ДЭЗИ-Цойтен (Германия)) завершила начатую в 2006 г. работу по созданию в Тункинской долине установки для изучения космических лучей сверхвысоких энергий по черенковскому свету ШАЛ – установки Тунка-133 (Буднев и др., 2009), включающей в себя 133 детектора, размещенные на площади 1 км^2 . Новая установка превосходит по площади предшествующую в 10 раз и охватывает в 3 раза больший телесный угол. Это позволит продвинуться по энергии почти на порядок и надежно «прописать» не только утяжеление состава с ростом энергии, но и ожидаемый при переходе к космическим лучам от внегалактических источников более легкий состав при энергиях выше 10^{17} эВ. За один год работы (400 часов наблюдений) установка зарегистрирует более 300 событий с энергий выше 10^{17} эВ внутри геометрической площади установки.

Уникальная особенность установки Тунка-133 – регистрация формы импульсов черенковского света каждым из 133 детекторов установки, что не только позволяет улучшить точность и надежность измерения глубины максимума развития ШАЛ, но и открывает возможность новой методики восстановления положения оси ливня, применимой для больших расстояний, в том числе для событий с осями ливней вне периметра установки. Новая методика восстановления оси ШАЛ позволит увеличить эффективную площадь для событий с энергией выше $3 \cdot 10^{17}$ эВ в 5–10 раз.

В настоящее время в состав установки включены три антенны для регистрации радиоизлучения ШАЛ. Планируется увеличить число радиоантенн до 20. Радиометод, являясь калориметрическим, как и метод регистрации ШАЛ по черенковскому свету, позволит регистрировать ШАЛ в светлое время суток и в любую погоду. Совместная регистрация черенковского света и радиоизлучения ШАЛ позволит откалибровать радиометод.

В дальнейшем планируется включить в состав установки 20 сцинтилляционных детекторов мюонов площадью 10 м^2 каждый. Совместная работа черенковской установки и сети мюонных детекторов повышает точность оценок массового состава при энергии выше 10^{17} эВ. В частности, расчеты показывают, что удастся надежно отделить группу легких ядер (протоны, гелий) от группы тяжелых (кремний, железо), что особенно важно в области перехода от галактических космических лучей к внегалактическим.

Наряду с развитием экспериментальных методов наблюдался бурный прогресс вычислительной техники, что дает возможность значительно усовершенствовать (по существу, поднять на новый, недоступный ранее уровень) как процедуру обработки экспериментальных данных установок для исследования ШАЛ, так и процесс сопоставления экспериментальных результатов с предсказаниями теоретических моделей. Поэтому продолжался анализ результатов, полученных в 1984–1990 гг. на старейшей экспериментальной установке НИИЯФ для исследования космических лучей сверхвысоких энергий – установке ШАЛ МГУ. Эта установка, созданная в 1950-х годах и модернизированная в конце 1970-х, была одной из самых информативных в мире, и даже в настоящее время некоторые ее результаты (в частности распределения по числу мюонов при фиксированном числе электронов, относящиеся к области первичных энергий выше 10^{17} эВ) продолжают оставаться уникальными.

Разработан улучшенный метод определения массового состава ПКЛ при энергиях 10^{15} – 10^{17} эВ по экспериментальным данным установки ШАЛ МГУ. В этом методе наряду с флуктуациями в числе мюонов, регистрируемых подземным детектором, учтены флуктуации градиента функции пространственного распределения заряженных частиц на фиксированных расстояниях от оси ливня. Результаты на более высоком методическом уровне подтверждают предыдущее заключение относительно обогащения состава тяжелыми ядрами за изломом при энергиях $\sim 3 \cdot 10^{15}$ эВ в энергетическом спектре ПКЛ (Вишневская и др., 1999).

Несомненный интерес представляет область энергий более 10^{17} эВ, поскольку в ней следует ожидать появления космических лучей иного происхождения по сравнению с теми, которые наблюдаются при более низких энергиях и традиционно связываются со взрывами сверхновых в нашей галактике. Действительно, при энергии $\sim 10^{17}$ эВ излом в парциальных спектрах ядер, входящих в состав ПКЛ, достигается уже и для железа, а показав-

тель спектра всех частиц тем не менее сохраняет в области 10^{17} – 10^{18} эВ примерно то же значение, что и при энергиях 10^{16} – 10^{17} эВ. Наиболее естественно считать, что начиная с энергии $\sim 10^{17}$ эВ в потоке ПКЛ все больше проявляется вклад экстрагалактических космических лучей.

За период эксплуатации установки ШАЛ МГУ было зарегистрировано более 10^3 ливней с числом частиц $N_e \geq 10^7$, что дает возможность исследовать поведение массового состава и энергетического спектра ПКЛ в интересующей нас области энергий (Калмыков, 2009).

Полученный спектр по N_e при числе частиц $N_e \geq 10^7$ не удается согласовать с расчетным, выполненным с использованием массового состава, дающего оптимальное согласие в области энергий менее 10^{17} эВ. Расчетный спектр идет существенно ниже экспериментального. Принимая, что различие спектров связано с дополнительной компонентой, получаем, что

спектр ШАЛ, генерированных дополнительной компонентой ПКЛ, имеет показатель, близкий к тому, что наблюдается до первого излома ($\gamma_d \approx 2,36 \pm 0,08$).

Считая, что дополнительная компонента состоит из протонов, можно найти вид их энергетического спектра, используя модель QGSJET. Показатель этого спектра в интервале 10^{17} – 10^{18} эВ составляет $\gamma_d \approx 2,55 \pm 0,09$. При учете дополнительной протонной компоненты величина $\langle \ln A \rangle$, где A – массовое число, оказывается равной 3,2 при $N_e = 10^7$ и снижается до 1,7 при $N_e = 10^8$.

Это заключение подтверждается данными по зависимости плотности мюонов на расстоянии 50 м от оси ливня от мощности ливня. На рис. 5

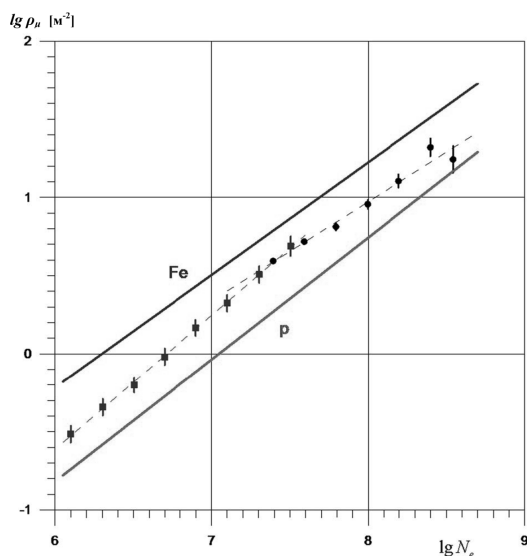


Рис. 5. Зависимость плотности мюонов от мощности ливня. Линии Fe и p – результаты расчета по модели QGSJET для первичных ядер железа и протонов. Экспериментальные точки: ■ – по данным центрального мюонного детектора, ● – по данным четырех мюонных детекторов

данные установки ШАЛ МГУ приведены в виде двух серий точек. Первая, для ливней с $N_e < 3 \cdot 10^7$, получена по данным центрального мюонного детектора. Вторая серия точек, для более мощных ливней, получена по данным четырех мюонных детекторов, входящих в состав установки ШАЛ МГУ. Из

рисунка видна тенденция уменьшения среднего массового числа первичных частиц с увеличением N_e (т. е. энергии).

Значительный интерес представляет изучение распределения времен прихода ШАЛ. С этой целью было проанализировано около двух миллионов ШАЛ с энергией выше 10^{14} эВ, зарегистрированных на модернизированной части установки ШАЛ МГУ. Исследование распределений времен прихода ливней дало возможность обнаружить новые закономерности генерации космических частиц сверхвысоких энергий (Зотов и др., 2004). Показано существование кластеров ШАЛ с числом частиц порядка 10^5 , в которых наблюдается значительное возрастание темпа счета по сравнению со средним. Обработка зарегистрированных кластеров методами нелинейного анализа, а также методами классической статистики дает указание на существование признаков хаотической динамики в распределениях времен прихода ливней. Вероятность случайного возникновения такого результата $\sim 10^{-7}$ – 10^{-8} . Качественно продемонстрировано, что наблюдаемые всплески темпа счета ливней связаны с неоднородностями и фрактальными свойствами межпланетного магнитного поля.

3. Исследования взаимодействий космических лучей

Выше уже отмечалось, что ПКЛ, если рассматривать их как источник частиц сверхвысоких энергий, не могут удовлетворять требованиям, предъявляемым к ускорительным пучкам. Однако только исследования, проводимые с космическими лучами сверхвысоких энергий, дают возможность изучать взаимодействия при энергиях, превышающих достигнутые на ускорителях.

Продолжался анализ данных эксперимента ПАМИР (Байбурина, 1984), накопленных более чем за 20-летний период экспозиции ретнгеноэмulsionных камер различной конструкции на Памире на высоте 4400 м над уровнем моря. Этот крупномасштабный эксперимент по изучению взаимодействий адронов космических лучей при энергиях 100 ТэВ – 100 ПэВ был начат в 1971 г. коллаборацией 11 советских и польских институтов. В работе с самого начала принимали участие сотрудники НИИЯФ И.П. Иваненко, И.В. Ракобольская, А.К. Манагадзе, Е.А. Мурзина, Т.М. Роганова, Л.Г. Свешникова и др. В широком диапазоне энергий исследовались пространственные и энергетические характеристики гамма-адронных семейств, т. е. генеалогически связанных каскадов вторичных частиц космических лучей, рожденных во взаимодействиях адронов с ядрами атомов воздуха.

Проведенный анализ показал, что происходит резкое увеличение ширины пространственного распределения гамма-квантов в семействах при переходе к энергиям выше $2 \cdot 10^{16}$ эВ по сравнению с ожидаемым из расчетов. Такой же вывод следует из анализа адронных семейств. Наблюдаемое расширение

пространственного распределения указывает либо на значительное увеличение поперечного импульса частиц в ядерном взаимодействии, либо на изменение массового состава частиц первичного космического излучения. Возможна и комбинация этих двух механизмов.

Одним из наиболее интересных результатов, полученных в эксперименте ПАМИР, является наблюдаемый в семействах с энерговыделением более 500 ТэВ эффект выстроенности наиболее энергичных частиц вдоль прямой, ортогональной направлению движения первичной частицы. Этот эффект выходит за рамки статистических флуктуаций и не находит количественного объяснения ни в одной современной модели. При росте энерговыделения происходит не только расширение пространственного распределения, но и увеличение доли выстроенных семейств.

Уникальную возможность для анализа взаимодействий при сверхвысоких энергиях предоставляет суперсемейство СТРАНА, зарегистрированное в стратосфере в 1975 г. Особенность этого стратосферного суперсемейства состоит в том, что предположительно оно образуется в результате однократного взаимодействия первичной частицы в связи с малостью проходящего ею вещества (высота полета 30–33 км соответствовала среднему давлению воздуха $10,2 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$). Энергия первичной частицы оценивалась как $\geq 10^{16}$ эВ. В семействе наблюдался ярко выраженный эффект выстроенности и большие средние поперечные импульсы, превышающие в 5–20 раз стандартные значения (Манагадзе, Оседло, 2009).

За исключением эффекта выстроенности, данные, полученные при исследовании семейств гамма-квантов и адронов, равно как и экспериментальные результаты изучения ШАЛ, могут быть адекватно описаны в рамках современной кварк-глюонной картины сильных взаимодействий. В этой связи отметим созданную в НИИЯФ МГУ модель адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействий QGSJET, на основе которой был создан соответствующий монте-карловский генератор этих взаимодействий (Kalmykov et al., 1997). Модель QGSJET учитывает как мягкие, так и жесткие взаимодействия, а также процесс фрагментации ядер. Этот генератор, оказавшийся удобным инструментом для проведения расчетов, необходимых для интерпретации и планирования экспериментов с космическими лучами сверхвысоких энергий, в настоящее время широко используется во всем мире и входит в состав известных программных комплексов CORSIKA и AIRES.

Анализ данных космических лучей сверхвысоких энергий позволяет отвергнуть ту или иную конкретную модель взаимодействия, если она противоречит эксперименту, однако удовлетворительное согласие модели с экспериментальными данными еще не является гарантией ее истинности, поскольку в принципе нельзя исключить, что такого же (или даже лучшего) согласия можно достичь в рамках другой модели. Поэтому следует считаться с возможностью изменения модели (или ее отдельных параметров) по

мере накопления экспериментальных данных. В частности, такой пересмотр может стать необходимым, если в результате запуска ЛНС-коллайдера наши представления о том, как происходят сильные взаимодействия, существенно изменятся.

4. Глубоководная регистрация мюонов и нейтрино

В 1980 г. ИЯИ АН СССР инициировал работы по созданию на озере Байкал глубоководных черенковских установок для исследования потоков мюонов и нейтрино. В НИИЯФ МГУ по указанию С.Н. Вернова в 1981 г. для участия в этих работах была образована группа под руководством Л.А. Кузьмичева. Выбор озера Байкал обусловлен рядом преимуществ, облегчающих проведение эксперимента по сравнению с осуществлением аналогичных проектов в океане, а именно: наличием больших глубин вблизи от берега, малостью поглощения и рассеяния света в байкальской воде, устойчивым ледяным покровом в течение приблизительно 8 недель.

В 1982 г. в работу включилась одна из лабораторий НИИПФ Иркутского государственного университета, и возникло сотрудничество «Байкал», к которому в дальнейшем присоединились Нижегородский государственный технический университет и Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, а также группа физиков из Германии.

Создание нейтринного телескопа НТ200 происходило поэтапно, полномасштабный нейтринный телескоп НТ200 заработал в 1998 г. НИИЯФ МГУ ведет работу по созданию подводной электроники детектора, системы сбора и передачи данных. Сотрудники НИИЯФ МГУ принимают участие в монтаже нейтринных телескопов непосредственно на озере Байкал, обслуживают стационарно работающие в течение года прототипы НТ200. В 1997 г. сотрудниками НИИЯФ МГУ (С.Ф. Бережнев и др.) на берегу Байкала установлена антенна и комплекс оборудования, обеспечивающий подключение Байкальского нейтринного стационара Института ядерных исследований к Интернету.

Действующий в настоящее время Байкальский нейтринный телескоп НТ200 (рис. 6) расположен в 3,5 км от берега. Глубина озера в этом месте около 1370 м. В первом Байкальском глубоководном нейтринном телескопе 96 пар оптических модулей на основе фотоприемника «Квазар-370» были размещены поровну на восьми вертикальных тросах (гирляндах), из них семь периферийных гирлянд распределены равномерно по окружности с радиусом 21,5 м. В течение 2003–2007 гг. телескоп был дополнен тремя внешними гирляндами, расположенными на расстоянии 100 м от центра НТ200. Новый глубоководный комплекс получил название НТ200+. При создании НТ200+ была экспериментально проверена новая идеология обмена информацией между береговым центром и подводным оборудованием

Байкальского нейтринного телескопа. Аппаратно она основана на использовании промышленных DSL-модемов и так называемых одноплатных компьютеров, размещаемых под водой, что позволило увеличить скорость обмена информацией более чем на порядок по проложенным по дну кабелям (Айнутдинов и др., 2003).

Основные задачи, которые в настоящее время решаются в рамках Байкальского нейтринного проекта:

- изучение угловых и энергетических спектров атмосферных мюонов;
- изучение угловых спектров атмосферных нейтрино;
- поиск гипотетических частиц (WIMP, тяжелые магнитные монополи и т. д.);
- поиск астрофизических нейтрино высоких энергий;
- долговременный мониторинг гидрофизических процессов в озере Байкал.

Для решения каждой задачи подбирается свой алгоритм, который позволяет наилучшим образом выделить события данного типа из общего потока информации.

Основной метод регистрации атмосферных нейтрино, т. е. нейтрино, родившихся в результате взаимодействия космических лучей с ядрами воздуха, состоит в поиске прошедших через NT200 мюонов из нижней полусферы. В результате обработки данных за период с 1998 по 2002 гг. (1008 дней наблюдений) выделено 372 нейтринных события. Это число следует сравнивать с 385 событиями, связанными с атмосферными нейтрино и фоновыми событиями от атмосферных мюонов, ожидаемыми в соответствии с результатами моделирования с использованием метода Монте-Карло.

Центральной задачей для нейтринных телескопов в природных средах является поиск астрофизических нейтрино сверхвысоких энергий. Для степенного энергетического спектра нейтрино с показателем наклона, равным двум ($P \sim E^{-2}$), предсказываемом в ряде моделей ускорения космических лучей, и равном соотношении потоков электронных, мюонных и тау-нейтрино мы получили предел на поток нейтрино всех сортов:

$$E^2 \Phi < 2,9 \cdot 10^{-7} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1} \text{ ГэВ для энергии } 20 \text{ ТэВ} < E_\nu < 20 \text{ ПэВ}.$$

Кроме того, отметим ограничение на потоки мюонов прямой генерации в области энергий $3,2 \cdot 10^4 - 1,6 \cdot 10^6 \text{ ГэВ}$, а также ограничение на гипотетическую мюонную компоненту, которая вводится в некоторых моделях при попытке объяснения излома в спектре ПКЛ за счет новых взаимодействий.

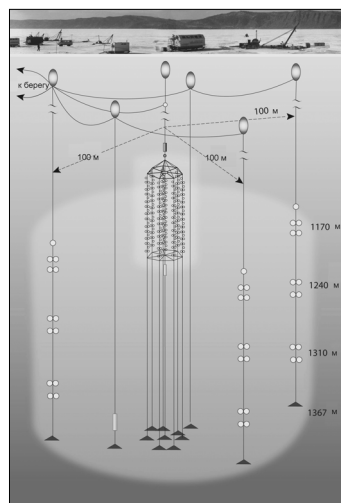


Рис. 6. Схема нейтринного телескопа

За 1003 суток чистого времени работы телескопа событий, удовлетворяющих критериям отбора магнитного монополя, не обнаружено. Это позволило установить предел на поток магнитных монополей. Для $v/c = 1$ предел на поток равен

$$F_{\text{мон}} < 0,46 \cdot 10^{-16} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}.$$

В последние годы начаты проектные работы и эксперименты, направленные на создание на оз. Байкал установки НТ1000, которая будет состоять из 96 гирлянд длиной 350–460 м с 24 оптическими модулями на каждой гирлянде, общее число модулей будет более 2300. Все гирлянды будут сгруппированы в 12 кластеров. Расстояние между гирляндами будет около 100 м. Эффективный объем НТ1000 для регистрации каскадов с энергией $E > 100 \text{ ТэВ}$ $\sim 0,5 \text{ км}^3$, порог регистрации мюонов 10–100 ТэВ. Более точные параметры установки будут получены в результате моделирования с использованием метода Монте-Карло. Новый телескоп позволит осуществлять поиск нейтрино сверхвысоких энергий на уровне чувствительности к потокам, величина которых в несколько раз ниже предела Ваксмана–Бакала, более чем на порядок понизить предел на поток быстрых магнитных монополей или зарегистрировать их, решить другие задачи астрофизики и физики высоких энергий.

5. Эксперимент OPERA

Одной из задач физики элементарных частиц и астрофизики является измерение массы нейтрино, которое можно осуществить при исследовании нейтринных осцилляций – процесса изменения аромата движущегося в вакууме или веществе нейтринного пучка. В случае если нейтрино имеют массу и реализуется гипотеза смешивания, регистрируемые ν_e , ν_μ , ν_τ являются суперпозицией трех состояний. Эксперимент OPERA (Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus) – проект по прямому наблюдению эффекта осцилляций нейтрино с использованием эмульсионного детектора (Агафонов и др., 2009). В этом международном эксперименте принимают участие около 200 физиков из 34 института, в том числе и российские (НИИЯФ МГУ, ФИАН им. Лебедева, ИЯИ РАН).

Проект эксперимента OPERA был предложен в 2000 г. С помощью ускорителя SPS, расположенного в ЦЕРНе (CERN), создается пучок ν_μ и направляется на детектор, находящийся на расстоянии $L = 732 \text{ км}$ от ЦЕРНа в подземной лаборатории Гран-Сассо (Gran-Sasso). В эксперименте исследуются события, связанные с взаимодействиями нейтрино, в том числе, вероятно, и таонных нейтрино, появление которых вызвано эффектом осцилляций $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$. Основной элемент детектора – эмульсионный блок, состоящий из 57 эмульсионных пластин, чередующихся с 56 свинцовыми пластинами.

Размер блока $127 \times 102 \times 75,4$ мм, масса около 8,3 кг. Главной целью эксперимента OPERA является определение параметров $\sin^2 2\theta_{23}$ и Δm^2 , которые могут быть оценены по количеству зарегистрированных таонов.

Создание детектора началось в 2003 г. В 2004 г. были завершены работы по подготовке пучка. В 2006 г. состоялся первый запуск пучка из ЦЕРНа и тестирование его совместной работы с электронными детекторами в Гран-Сассо. В 2007 г. был проведен тестовый эксперимент с электронными и эмульсионными детекторами – обнаружены события, связанные с взаимодействием нейтрино в эмульсионных кирпичиках. В 2008 г. был проведен первый физический этап, в результате которого суммарная интенсивность пучка SPS составила $1,78 \cdot 10^{19}$ протонов на мишень. В 2009 г. планируется достигнуть интенсивности $3,2 \cdot 10^{19}$ протонов на мишень и получить около 3500 событий, связанных с взаимодействием нейтрино в эмульсионной мишени детектора.

Обработка и анализ событий проводятся с использованием автоматизированных сканирующих приборов в Европе (~20 сканатеров) и Японии (~6 сканатеров), в которой принимают участие российские участники эксперимента. В 2010 г. планируется ввод двух сканатеров в России.

Анализ событий включает исследование топологии событий, особенности которой должны явиться основным признаком появления в пучке мюонного нейтрино нейтрино таонных. К настоящему времени уже обнаружено 15 событий, связанных с образованием чармированных частиц (время жизни чармированных частиц сопоставимо с временем жизни тау-лептона), которые по топологии похожи на таонные события. Таким образом, начат систематический анализ событий, связанных с распадом, в результате которого уже на имеющейся статистике 2008 и 2009 гг. возможно обнаружение событий, связанных с распадом таона.

6. Проекты новых экспериментов

НИИЯФ МГУ принимает участие в подготовке ряда экспериментов, связанных с различными аспектами физики космических лучей. В настоящем разделе рассматриваются проекты, работа над которыми продвинулась достаточно далеко и в реализации которых роль института является определяющей.

Применение ионизационного калориметра для исследования прямыми методами энергетического спектра и состава ПКЛ при всех неоспоримых достоинствах имеет существенный недостаток, связанный с необходимостью вывода на орбиту большого количества плотного вещества, если эксперимент нацелен на область энергий выше 10^{14} эВ. В НИИЯФ МГУ разработана новая методика KLEM (Kinematic Lightweight Energy Meter), состоя-

щая в том, что энергия первичной частицы определяется из пространственной плотности распределения потока вторичных частиц, рожденных в тонкой мишени в первом акте неупругого взаимодействия и размноженных в вольфрамовом конвертере. Эта методика, на основе которой осуществляется проект эксперимента НУКЛОН, позволяет отказаться от массивного поглотителя и, таким образом, дает возможность создания научной аппаратуры небольшого веса при значительной величине светосилы. Проект НУКЛОН (Подорожный и др., 2007) получил поддержку РАН и включен в Федеральную космическую программу России. НИИЯФ МГУ – головная организация по созданию научной аппаратуры эксперимента НУКЛОН, а ФГУП КБ Арсенал им. М.В. Фрунзе – головная организация по созданию научно-технических средств для проведения космического эксперимента. Кроме того, в эксперименте принимают участие ОИЯИ, НПП «Горизонт», АОЗТ НИИМВ и МИФИ.

Эксперимент предполагает создание научной аппаратуры небольших габаритов и веса, способной давать сведения о ПКЛ в широком диапазоне энергий 10^{11} – 10^{15} эВ. Научная аппаратура представляет собой «слоистую» структуру весом менее 165 кг при размерах активной части спектрометра $\sim 500 \times 500 \times 250$ мм и включает 4 слоя падовых (площадь пада $\sim 2,5$ см²) кремниевых детекторов, предназначенных для прецизионного измерения заряда первичной частицы; 6 слоев микростриповых кремниевых детекторов (шаг стрипа ~ 450 мкм), предназначенных для определения энергии первичной частицы, локализации места первого неупругого взаимодействия и траектории прихода в установку первичной частицы; 6 слоев позиционно-чувствительных сцинтилляционных детекторов, предназначенных для выработки триггерного сигнала. Энергопотребление не превышает 150 Вт, а собственно научной аппаратуры – 120 Вт. Аппаратура должна сохранять работоспособность в течение не менее 5 лет.

Планируемый фактор экспозиции эксперимента НУКЛОН почти в 10 раз превышает суммарный фактор экспозиции, достигнутый за 40 лет исследований в других экспериментах. Эксперимент позволит осуществить исследование энергетических спектров различных элементов ПКЛ в области энергий 1–1000 ТэВ, проверить наличие неоднородностей в этих спектрах, исследовать возможную пространственную анизотропию отдельных групп ядер, что существенно для теории происхождения ПКЛ.

Переходя к рассмотрению более высоких энергий, отметим, что до настоящего времени остается актуальной проблема реликтового обрезания спектра ПКЛ предельно высоких энергий (Greisen, 1966; Зацепин, Кузьмин, 1966). Как известно, эффект обрезания спектра ожидается при энергиях выше $5 \cdot 10^{19}$ эВ, и в то же время на ряде установок получены данные о существовании частиц с энергией более 10^{20} эВ, что ставит вопрос о необычном происхождении таких частиц. Наблюдение частиц столь высоких энергий

может быть объяснено либо существованием новых астрофизических объектов – ускорителей заряженных частиц, находящихся в Галактике или в галактиках, принадлежащих местному скоплению (расстояния не далее 50 Мпк), либо гипотетическими распадами частиц, возникающих в моделях великого объединения, или топологических дефектов, рассматриваемых в космологической теории.

Это побудило С.Н. Вернова поставить вопрос о развертывании исследований космических лучей с энергиями вплоть до 10^{20} эВ. Под руководством и при непосредственном участии С.Н. Вернова вблизи Якутска к середине 1970-х годов была создана одна из крупнейших в мире установок площадью 18 км^2 , успешно работающая до настоящего времени.

Однако ввиду недостаточной статистики проблема обрыва энергетического спектра космических лучей не была решена, и нужны новые установки с большей эффективной площадью.

Исследованию космических лучей предельно высоких энергий посвящен проект ТУС (трековая установка), развивающийся в НИИЯФ МГУ с 1995 г. (Abrashkin et al., 2006). Проект ТУС, входящий в Федеральную космическую программу России, предусматривает изучение энергетического спектра космических лучей при энергиях выше 10^{19} эВ с помощью оптического детектора, размещаемого на борту космического аппарата. Наблюдение флуоресцентных треков, создаваемых ШАЛ, с орбиты оказывается более эффективным, чем наблюдение с помощью наземных установок для изучения ШАЛ. Один орбитальный оптический детектор может просматривать огромные площади атмосферы Земли. Предлагаемый оптический детектор ТУС будет первым прибором такого типа. При дальнейшем развитии метода наблюдения с помощью орбитального оптического детектора возможно увеличение геометрического фактора в сотни и тысячи раз и изучение космических лучей с энергией 10^{21} эВ.

Помимо главного преимущества – возможности создания детектора с огромным геометрическим фактором – наблюдения с орбиты спутника имеют ряд важных особенностей, позволяющих получить дополнительные данные о космических лучах предельно высоких энергий. Орбитальный детектор открывает возможность эффективной регистрации событий не только от протонов и ядер космических лучей, создающих ШАЛ на глубинах атмосферы $400\text{--}1000 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$, но и от нейтрино ультравысоких энергий (создающих ШАЛ на глубинах более $1200 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$ – «горизонтальные» ливни), и от релятивистских пылинок (создающих короткие лавины вторичных частиц в верхних слоях атмосферы на глубинах $150\text{--}250 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$). Поиск и изучение нейтрино ультравысоких энергий с помощью детектора ТУС особенно интересны в связи с тем, что масса обозреваемого вещества миссии (атмосферы), где могут взаимодействовать нейтрино, исключительно велика – 10^{11} т.

Оптический детектор проекта ТУС создается на основе принципиально новой конструкции зеркала – зеркала Френеля, разрабатываемого в НИИЯФ МГУ совместно с РКК «Энергия», ОАО Консорциум «Космическая регата» и ОИЯИ. В этой конструкции зеркало-концентратор создается на плоской поверхности, причем отражающие кольца размещаются в соответствии с алгоритмом, обеспечивающим фокусировку пучка света. Плоская конструкция позволяет плотно упаковать зеркало большой площади при транспортировке на орбиту и затем на орбите разворачивать его до полной площади.

В фокусе зеркала-концентратора размещается мозаика из большого числа ФЭУ, позволяющая по времени прихода и амплитуде сигнала в индивидуальных ФЭУ измерять в каждом регистрируемом событии направление первичной частицы и каскадную кривую (число вторичных электронов, вызывающих флуоресценцию, как функцию глубины в атмосфере). По интегральному значению числа электронов в каскадной кривой определяется энергия первичной частицы (калориметрический метод), а по положению максимума кривой – природа первичной частицы. Для нахождения абсолютной глубины максимума каскада будет использоваться информация о рассеянном назад черенковском свете ШАЛ. Высота рассеивающей свет поверхности (облака, море, суша) будет измеряться по времени прихода контрольного сигнала от бортовой лампы-вспышки, импульсы которой генерируются после регистрации трека ШАЛ. В 2005 г. после запуска спутника «Университетский–Татьяна» были экспериментально получены оценки фона ультрафиолетового излучения атмосферы, которые оказались ниже первоначально предполагавшихся.

Высококчувствительный быстродействующий оптический детектор (чувствительность – начиная с одного фотозлектрона, частота кадров изображения – $5 \cdot 10^6$ Гц) с концентратором света большой площади и сравнительно высоким угловым разрешением (20 угловых минут) может быть использован и для изучения грозových разрядов в верхних слоях атмосферы, прохождения метеоров через атмосферу и т.д. Начало эксперимента планируется на 2011 г., когда должен состояться запуск спутника «Михайло Ломоносов».

Следует упомянуть о еще одном эксперименте, в котором решается задача, аналогичная поставленной в проекте ТУС, а именно исследования космических лучей с помощью установки СФЕРА (Анохина и др., 2007), регистрирующей отраженное от снежной поверхности черенковское излучение ШАЛ. Установка состоит из сферического зеркала и мозаики из ФЭУ, расположенных в фокальной плоскости зеркала. В 1998 г. был проведен полет тестового варианта установки в районе г. Вольска (с мозаикой из 10 ФЭУ-110). В 2001 г. организационно оформлено участие НИИЯФ МГУ (Р.А. Антонов и др.) совместно с Физическим институтом РАН в проведении измерений установкой СФЕРА на российской антарктической станции «Новолазаревская». Первые пробные измерения светового фона, регист-

рируемого установкой СФЕРА в Антарктиде с высоты 1 км, были осуществлены в период 48-й российской антарктической экспедиции. К настоящему времени создана установка СФЕРА-2, мозаика которой включает 109 ФЭУ-84 и позволит регистрировать как отраженный от снежной поверхности черенковский свет ШАЛ, так и флуоресцентный трек ливня в атмосфере. В условиях работы в Антарктиде в варианте привязного аэростата эта установка даст возможность проводить измерения в диапазоне энергий 10^{15} – 10^{18} эВ, а в варианте свободного полета на высоте 30–40 км – в диапазоне от 10^{18} эВ до нескольких единиц 10^{20} эВ. В 2009 г. эта установка была успешно испытана в районе озера Байкал.

Заканчивая, можно с удовлетворением сказать, что исследования космических лучей в широком диапазоне энергий от 10^{10} до 10^{20} эВ, у истоков которых стоял академик С.Н. Вернов, успешно развиваются и их перспективы выглядят обнадеживающими.

Авторы благодарны Л.А. Кузьмичеву и Т.М. Рогановой за содействие в подготовке статьи.

Литература

- Агафонова Н.Ю., Анохина А.Н., Багуля А.В. и др. Современный статус эксперимента OPERA по наблюдению осцилляций ν_μ в ν_τ в пучке ν_μ . // Изв. РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73. С. 685–687.
- Айнутдинов В.М., Аврорин А.В., Балканов В.А. и др. Статус Байкальского нейтринного эксперимента. // Изв. РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73. С. 682–684.
- Аминева Т. П., Астафьев В.А., Варковицкая А.Я. и др. Исследование мюонов сверхвысоких энергий. // М.: Наука. 1975.
- Анохина А.М., Антонов Р.А., Бонвеч Е.А. и др. Метод анализа массового состава частиц первичных космических лучей применительно к установке СФЕРА-2. // Изв. РАН. Сер. физ. 2007. Т. 71. С. 524–526.
- Байбурина С.Г., Борисов А.С., Гусева З.М. и др. Взаимодействия адронов космических лучей сверхвысоких энергий (эксперимент «Памир»). // М.: Наука. Труды физического института им. П.Н.Лебедева. Т. 154. С. 3–217.
- Буднев Н.М., Вишневский Р., Гресс О.А. и др. Тунка-133: Статус 2008 года и развитие методики анализа данных. // Изв. РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73. С. 627–631.
- Вишневская Е.А., Калмыков Н.Н., Куликов Г.В. и др. Утяжеление массового состава ПКЛ в области за изломом энергетического спектра по данным установки ШАЛ МГУ. // ЯФ. 1999. Т. 62(2). С. 300–306.
- Григоров Н.Л., Мурзин В.С., Рапопорт И.Д. Метод измерения энергии частиц в области выше 1011 эВ. // ЖЭТФ. 1958. Т. 34. С. 506–507.
- Зацепин В.И., Куликов Г.В., Фомин Ю.А. Развитие экспериментальных исследований по физике космических лучей. // В сб. «Исследования по физике космических лучей в НИИЯФ МГУ. МГУ. 1998. С. 3–16.
- Зацепин В.И., Лазарева Т.В., Сажина Г.П., Сокольская Н.В. Энергетические спектры и состав первичных космических лучей в области энергий выше 10 ТэВ на частицу. // ЯФ. 1994. Т. 57. С. 684 – 689.
- Зацепин Г.Т., Ильина Н.П., Калмыков Н.Н. и др. Экспериментальный спектр нуклонов ПКЛ в области 20–400 ТэВ и генерация чарма по результатам мюонного эксперимента МГУ. // Изв. РАН. Сер. физ. 1994. Т. 58. С. 119–122.

- Зацепин Г.Т., Кузьмин В.А. Верхняя граница спектра космических лучей. // Письма в ЖЭТФ. 1966. Т. 4. С. 78–80.
- Зотов М.Ю., Куликов Г.В., Фомин Ю.А. Исследование распределения времен прихода широких атмосферных ливней по данным установки ШАЛ МГУ методами нелинейного анализа. // Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика. Астрономия. 2004. № 4. С. 33–36.
- Иваненко И.П., Шестоперов В.Я., Подорожный Д.М. и др. Энергетические спектры различных компонент космических лучей при энергиях выше 2 ТэВ, измеренные аппаратурой «Сокол». // Изв. РАН. Сер. физ. 1993. Т. 57. С. 76–79.
- Калмыков Н.Н., Хорхе Котсоми, Сулаков В.П., Фомин Ю.А. Состав первичного космического излучения в области 10^{17} – 10^{18} эВ по данным установки ШАЛ МГУ. // Изв. РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73. С. 584–586.
- Манагадзе А.К., Оседло В.И. Два стратосферных суперсемейства с $E_0 \approx 10^{16}$ эВ. // Изв. РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73. С. 653–655.
- Панасюк М.И. Космическая физика в НИИЯФ МГУ. // Энциклопедия МГУ. НИИЯФ МГУ. М.: Библион – Русская книга. 2005. С. 31–53.
- Панов А.Д., Адамс Дж.Х., мл., Ан Х.С. и др. Энергетические спектры обильных ядер ПКЛ по данным эксперимента АТИС-2 – окончательные результаты. // Изв. РАН. Сер. физ. 2009. Т. 73. С. 602–605.
- Подорожный Д.М., Булатов В.Л., Баранова Н.В. и др. Эксперимент НУКЛОН: современное состояние. // Изв. РАН. Сер. физ. 2007. Т. 71. С. 518–520.
- Фомин Ю.А., Христиансен Г.Б. О форме импульса черенковского излучения широкого атмосферного ливня. // ЯФ. 1971. Т. 14. С. 654–658.
- Abrashkin V., Alexandrov V., Arakcheev Y., et al. The TUS space fluorescence detector for study of UHECR and other phenomena of variable fluorescence light in atmosphere. // Advances in Space Research. 2006. V. 37. P. 1876–1883.
- Adams James H., Jr., Lee J., Panasyuk M.I. et al. The Galactic Cosmic Ray All-Particle Spectrum. // Proc. 25th ICRC. Durban. 1997. V. 3. P. 401–403.
- Antoni T., Apel W.D., Badea A.F. et al. KASCADE measurements of energy spectra for elemental groups of cosmic rays. Results and open problems. // Astropart. Phys. 2005. V. 24. P. 1–25.
- Derbina V.A., Galkin V.I., Hareizama M. Cosmic ray spectrum and composition in energy range 10 – 1000 TeV/ particle observed by RUNJOB experiment. // Astrophys. J. 2005. V. 628. L. 41.
- Fomin Yu.A., Khristiansen G.B., Kulikov G.V. et al. Energy spectrum of cosmic rays at energies of 10^{15} – $5 \cdot 10^{17}$ eV. // Proc. 22nd ICRC. Dublin. 1991. V. 2. P. 85–88.
- Greisen K. End to the cosmic-ray spectrum? // Phys. Rev. Lett. 1966. V. 16. P. 748–750.
- Grigorov N.L., Rapoport I.D., Savenko I.A., Nesterov V.E. High energy cosmic rays of the Proton-4 cosmic scientific station. // Space Research XI Academic-Verlag. Berlin. 1971. P. 1391–1395.
- Kalmykov N.N., Ostapchenko S.S., Pavlov A.I. Quark-gluon string model and EAS simulation problems at ultra-high energies. // Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.). 1997. V. 52B. P. 17–28.
- Korosteleva E.E., Prosin V.V., Kuzmichev L.A., Navarra G. Measurement of cosmic ray primary energy with the atmospheric Cherenkov light technique in extensive air showers. // Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.). 2007. V. 165. P. 74–80.
- RUNJOB Collaboration. Apanasenko A.V., Derbina V.A., Galkin V.I. et al. // Composition and energy spectra of cosmic ray primaries in the energy range 10^{13} – 10^{15} eV/particle observed by Japanese-Russian joint balloon experiment. // Astrophys. Phys. 2001. V. 6. P. 13–46.

РОССИЙСКАЯ СЕТЬ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ: ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ

А.В. Белов

ИЗМИРАН

Введение

Юбилей выдающегося человека – повод перелистать страницы истории, понять логику ее развития. И это будет не уходом от сегодняшних проблем, а дополнительной возможностью в них разобраться. Особенно полезно ходить к корням, когда посаженное кем-то когда-то дерево и сейчас продолжает расти и плодоносить.

Правда, начиная эту статью, я не мог не задать себе два вопроса. Первый: почему мы говорим о Сергее Николаевиче Вернове в связи с нейтронными мониторами? Не этим же он всю жизнь занимался. Стратосфера – да. Спутниковые и вообще космические измерения – безусловно. Радиационные пояса, широкие атмосферные ливни – разумеется. Но не нейтронные мониторы. Он сам их не строил и не использовал. В его институте не было нейтронных мониторов. Тем не менее я уверен, что связывать нейтронные мониторы с Верновым не только возможно, но и необходимо. Постараюсь это объяснить.

Второй вопрос: а почему эту тему именно я обсуждаю? Действительно, я не смогу много сказать о С.Н. Вернове, его я только встречал и не был с ним знаком лично. Я был свидетелем только очень малой части его жизни. Даже если добавлю узнанное понаслышке, все равно много не получится.

Мне легче говорить про нейтронные мониторы. Ведь большая часть их истории прошла передо мной, и даже пусть и с небольшим, но моим участием. Но, безусловно, есть люди, знающие про это больше моего и куда больше внесшие в развитие нейтронных мониторов. Так что приступаю с сомнениями и надеждой, что старшие товарищи меня поправят и дополнят.

Ранний период развития нейтронных мониторов

Наверное, у кое-кого из молодых может возникнуть ощущение, что нейтронные мониторы были всегда. Но их история не так уж и длинна. Нейтронный монитор был изобретен и изготовлен американским ученым Джоном Симпсоном (рис. 1) в 1948–1950 гг. (Simpson, 1948; Simpson, 2000).

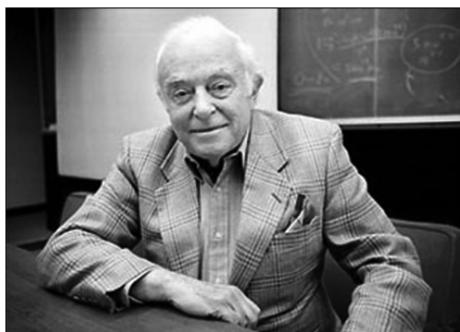


Рис. 1. Джон Симпсон (1916–2000)

Заметим, что на идею нового детектора Симпсона натолкнули высотные измерения космических лучей (КЛ), и именно этим в те же годы занимался в России С.Н. Вернов (Логачев, Панасюк, Стожков, 2000; Дорман И., 1989). Впервые же эта идея была высказана в работе Симпсона «Широтная зависимость плотности нейтронов в атмосфере как функция высоты» (Simpson, 1948). Сопоставьте с названием докторской

диссертации Вернова «Широтный эффект космических лучей в стратосфере...». Не знаю, ссылался ли тогда Симпсон на Вернова. Если нет, то только из-за недоступности советских работ. Полагаю, что к мысли об измерениях именно нейтронной компоненты вторичных космических лучей на различных широтах как средства для получения энергетического спектра вариаций первичных КЛ, Сергей Николаевич пришел независимо от Симпсона, и он, как никто другой, был готов к появлению нового детектора и нового метода наблюдений КЛ.

Симпсон быстро изготовил несколько вариантов нейтронного детектора нового типа. По меньшей мере, один из них сохранился и до сих пор работает на г. Сакраменто Пик. Уже в ноябре 1949 г. нейтронный монитор в Стокгольме (Адамс, 1950) зарегистрировал значительное увеличение (на 550%) нейтронного излучения, что стало первым случаем наземной регистрации солнечных космических лучей в нейтронной компоненте (и всего четвертым GLE в истории).

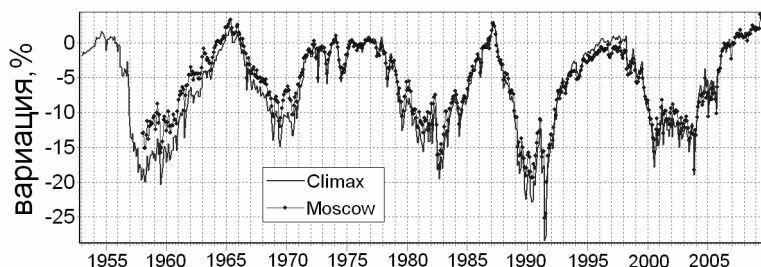


Рис. 2. Среднемесячные данные нейтронных мониторов ст. Клаймакс и ст. Москва

В 1951 г. появились первые регулярные данные нейтронных мониторов. С начала 1953 г. можно уже говорить о появлении первых признаков сети нейтронных мониторов. К сожалению, из тех давних станций космических

лучей до наших времен сохранилась только одна. Нейтронный монитор станции г. Клаймакс (Climax) образцово работает до сих пор. Поэтому, когда надо показать данные нейтронных мониторов за максимально большой период, выбор всегда однозначен – используется ст. Клаймакс (рис. 2).

В феврале 1956 г., когда произошло знаменитое наземное возрастание, данные для него удалось собрать уже с 13 нейтронных мониторов, широко распределенных по земному шару (Meyer et al., 1956; Smart and Shea, 1990; Белов и др., 2005). Поражает и то, как много нейтронных мониторов уже работало в то время и как быстро удалось собрать их данные. Ведь тогда не было Интернета и электронной почты, зато была «холодная война». Уже в 1957 г. эти данные были опубликованы в первой книге Л.И. Дормана (Дорман, 1957). Однако в начале 1956 г. нейтронных мониторов было все-таки намного меньше, чем в следующие годы, они не были стандартными, работали нерегулярно и не давали (за редкими исключениями) качественных данных.

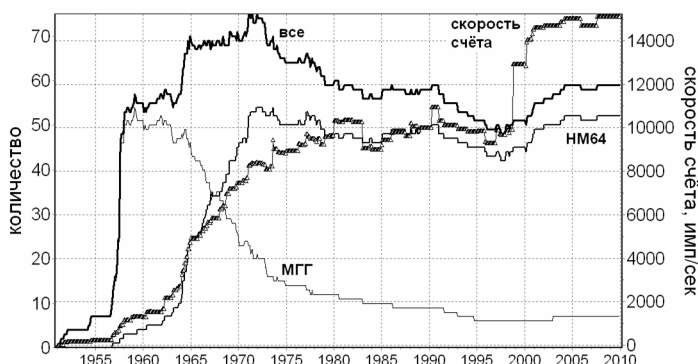


Рис. 3. Изменение количества нейтронных мониторов различных типов и их суммарной скорости счета

Резкое увеличение количества НМ и улучшение качества их данных произошло в 1957 г., в период Международного геофизического года (МГГ). За 1957 г. во многих странах мира было введено в строй более 30 нейтронных мониторов (рис. 3). Не менее важно, что в это время были приняты стандарты качества данных и установлены принципы обмена данными. Можно считать, что полноценная мировая сеть нейтронных мониторов существует с 1 июля 1957 г., т. е. с дня официального начала МГГ. И нейтронный детектор, разработанный Д. Симпсоном и широко распространившийся по всему миру, с этого времени официально называется нейтронный монитор типа МГГ (IGY-NM). После МГГ было многое, но такого бурного развития сети станций КЛ мы уже не видели.

Следующий важный момент в развитии сети станций космических лучей наступил в 1963–1964 гг., когда был создан новый вариант нейтронного

детектора (Hatton and Carmichael, 1964), так называемый НМ64 (NM64). Главным недостатком монитора типа МГГ была сравнительно маленькая площадь, которая определяла невысокую статистическую точность. Для детекторов типа МГГ, работавших на уровне моря, точность часовых данных была обычно выше 0,5%, и это стало ограничивать исследования. В новом нейтронном мониторе метровые счетчики сменили двухметровые, площадь одной (как правило, 6-счетчиковой) секции стала в 4 раза больше. К тому же новые нейтронные мониторы начали делать из двух-трех секций. В результате типичная статистическая точность нейтронного монитора НМ-64 на уровне моря сейчас 0,1–0,2%.

Переоснащение сети происходило постепенно, и в начале 1970-х, когда одновременно работали НМ старого и нового типа, количество нейтронных мониторов превысило 70 и достигло исторического максимума. Современная сеть нейтронных мониторов почти полностью состоит из детекторов НМ-64 (рис. 3). Сохранилось только несколько работающих мониторов типа МГГ, в основном в горах, где их малая площадь не так сказывается.

Создание советской сети нейтронных мониторов и роль С.Н. Вернова

В МГГ участвовало 67 различных государств. В их числе был и Советский Союз, объявивший о своем участии в проектах Международного геофизического года еще в 1953 г. Уже в 1954 г. был создан Советский комитет МГГ, а в нем различные рабочие группы (Распопов и др., 2007). Группу по космическим лучам возглавил С.Н. Вернов, который в это время был признанным лидером в этой области исследований (Логачев и др., 2000). И он не мог не прийти к мысли о необходимости мировой сети станций КЛ, не мог не понимать, что космические лучи надо измерять постоянно, а не от случая к случаю и по всей Земле, а не в нескольких точках. Идея определения энергетического спектра космических лучей с помощью одновременных измерений нейтронной компоненты на различных широтах, та самая идея, которая подтолкнула Симпсона к созданию нейтронного монитора, была Вернову близка и понятна. И когда возник план создания мировой сети нейтронных мониторов, именно Вернов стал главным его проводником в Советском Союзе. Разумеется, он не был одинок. В Советском комитете МГГ его взгляды, определенно, разделял Николай Васильевич Пушкив, который в это время был не только директором ИЗМИРАНа, но и заместителем председателя Советского комитета МГГ. Заметим, что о создании сети станций КЛ в ИЗМИРАНе (тогда НИИЗМе) говорили уже в 1940-е годы (Velov et al., 2009). Пушкив являлся одним из организаторов МГГ и в этот период создавал советскую сеть комплексных магнитно-ионосферных станций (КМИС), в состав оборудования которых удалось включить и нейтронные

мониторы. Несомненно, успеху дела помогали дружеские отношения Вернова и Пушкова. Рядом работал и Лев Исаакович Дорман, имя которого сейчас в первую очередь приходит на ум при упоминании нейтронного монитора. Но тогда это был совсем молодой Дорман, еще не написавший ни одной книги. Конечно, он многое понимал и наверняка уже играл роль эксперта, но не он принимал решения. На фото (рис. 4) мы видим Пушкова, Вернова и Дормана вместе. Среди видных ученых, которые поддерживали Вернова, следует назвать Виталия Лазаревича Гинзбурга и Евгения Львовича Фейнберга. И почти наверняка многих других.



Рис 4. Прием китайского ученого в НИИЗМе (ИЗМИРАНе) в 1950-е годы. Слева направо: Н.В. Пушков, Л.И. Дорман, китайский гость, Ю.М. Копылов (с 1954 по 1963 гг. – заведующий отделом космических лучей в ИЗМИРАНе), С.Н. Вернов

Но, судя по всему, ключевыми фигурами в создании советской сети нейтронных мониторов стали Вернов и Пушков. И огромное им за это спасибо. Когда что-то возникло, окрепло и устоялось, возникает иллюзия обязательности. Кажется, что иначе и быть не могло. Увы, могло. Наша страна слишком часто выбирала свои нехоженные пути, чтобы в этом сомневаться. Советский Союз мог и отказаться от участия в МГГ, могло у нас в стране и не найтись людей, осознавших необходимость непрерывного глобального наблюдения космических лучей и необходимость нейтронных мониторов. В этом случае советская сеть нейтронных мониторов не была бы создана, а это фактически уничтожило бы и мировую сеть станций КЛ. Без советской части она не только не может быть полноценной, но и не может считаться мировой.

Первыми в СССР одновременно с началом МГГ и одновременно со многими зарубежными детекторами начали работать нейтронные мониторы в

Алма-Ате (аата в таблице) и в Якутске. Обе эти станции существуют и сейчас. Правда, первая из них успела стать иностранной. Старейшим российским нейтронным монитором является якутский (ИКФИА), и о нем следует сказать особо. За его быстрым созданием стоит Юрий Георгиевич Шафер, а это еще одно имя, которое нельзя обойти, обсуждая историю советских и российских наблюдений космических лучей (<http://ikfia.ysn.ru/structura/shapher.html>). Ю.Г. Шафер был главным советским разработчиком ионизационных камер – основного детектора КЛ для 1940-х и начала 1950-х годов и предшественника нейтронных мониторов. Еще до войны он начал сотрудничать с С.Н. Верновым, и вариант ионизационной камеры, за которую Ю.Г. Шафер получил в 1950 г. Сталинскую премию, разрабатывался им совместно с С.Н. Верновым. Еще в 1947 г. Ю.Г. Шафером была создана станция КЛ в Якутске, на которой через 10 лет и появился первый российский нейтронный монитор.

Во время МГГ к первым советским станциям КЛ добавились нейтронные мониторы в Иркутске, Тбилиси, Москве (6 января 1958 года в 9 часов утра станция КЛ НИЗМИР была включена на непрерывную регистрацию), на о. Хейса, в Мурманске. Уже в апреле 1958 г. начала работать первая антарктическая станция КЛ в Мирном. Советская сеть нейтронных мониторов (таблица) была создана. Нейтронные детекторы типа МГГ позднее, в 1960-е годы, были установлены в Симферополе, Апатитах, на мысе Шмидта и на антарктической станции «Восток». Уже с 1962 г. началось переоснащение советских станций мониторами нового типа – НМ64. Эта работа проходила через ИЗМИРАН и активную роль в ней играл Яков Леонович Блох (Belov et al., 2009). Станции, организованные в конце 1960-х или в 1970-е годы и позже, все оснащались нейтронными мониторами нового типа. Поясним, что в таблице указан современный (или наиболее поздний) тип НМ. Цифры перед НМ64 соответствуют количеству счетчиков. В таблицу не вошли нейтронные мониторы, которые были созданы в Кабардино-Балкарии в поздние советские времена. Они некоторое время работали, но качественных данных на них получить так и не удалось, а в 1990-е годы они были разобраны. Часть этого оборудования была позже использована при создании нейтронного монитора ст. Баксан. Не все построенные НМ дожили до наших дней. Были закрыты станции в Симферополе, на о. Хейса, в Хабаровске, Киеве, Свердловске. В данных некоторых станций по разным причинам образовались перерывы. Самые большие из них были на станции в Норильске (09.1981–10.08.2000), в Мирном (07.1991–09.2006), Тикси (01.1993–06.1997). Однако начиная с 1957 г. советская часть мировой сети нейтронных мониторов все время эффективно работала. Работает она и сегодня. Ее уже нельзя назвать советской, но тем не менее она сохраняет внутреннюю цельность. Сотрудники постсоветских станций КЛ, ныне разделенные государственными границами, продолжают успешно сотрудничать.

Что делает мировую сеть НМ эффективной

Нейтронные мониторы выдержали проверку временем. Они давали и дают надежные данные, которые весьма широко используются. На каждой международной конференции по космическим лучам эти данные упоминаются и используются в сотнях докладов. Часты их упоминания и на других конференциях. Уже понятно, что в создание сети нейтронных мониторов вложены правильные идеи. Попробуем перечислить те плюсы и преимущества, которые сделали нейтронные мониторы столь эффективными.

- **Удачное устройство.** Мировую сеть НМ можно и нужно считать единым детектором космических лучей. И нейтронные мониторы – только одна из частей этого детектора. Другими же, не менее важными частями являются магнитосфера и атмосфера Земли. Они служат своеобразным фильтром, отсекая малоэнергичную часть космического излучения. Они служат также спектрометром. Магнитосфера позволяет широтное распределение интенсивности космических лучей превратить в энергетическую зависимость. Атмосфера позволяет делать то же самое, используя высотную зависимость.
- **Выгодный энергетический диапазон.** Нейтронные мониторы откликаются на первичные космические лучи с энергией от $5 \cdot 10^8$ до $5 \cdot 10^{11}$ эВ. В этом диапазоне солнечная модуляция галактических космических лучей достаточно велика, а солнечные космические лучи являются редкостью. Протоны и ядра в этом диапазоне обладают лармовскими радиусами от 10^{11} до 10^{15} см. Это дает возможность исследовать различные структурные особенности околосолнечного пространства, начиная от небольших неоднородностей до всей гелиомагнитосферы в целом. И все основные гелиосферные процессы с характерными временами от 10 минут до десятков лет, т. е. до продолжительности солнечного магнитного цикла. Все это делает мировую сеть НМ основным детектором для наблюдения и изучения вариаций галактических КЛ.
- **Большая площадь – высокая точность.** Нейтронные мониторы в целом обладают большой суммарной площадью (более 1000 м^2), что обеспечивает высокую статистическую точность измерений.
- **Непрерывность работы.** Даже короткий перерыв в работе одного нейтронного монитора – это чрезвычайное происшествие. Вся же сеть работает непрерывно. Можно гарантировать, что ни одно важное событие в вариациях КЛ (и в солнечно-земной физике) не было и не будет пропущено.
- **Выгодное расположение.** Земля, несущая сеть НМ, почти не меняет своего удаления от Солнца и незначительно меняет свою гелиошироту. Это облегчает изучение временных изменений в модуляции КЛ.

- **Возможность регистрировать солнечные КЛ.** Это бывает так редко, что почти не мешает изучать галактические КЛ. Каждое такое событие дает много научной информации и становится настоящим праздником.
- **Распределенность.** Унифицированные нейтронные мониторы отличаются в основном только расположением (высотой, широтой и долготой). Это не только позволяет определять энергетическую зависимость и анизотропию КЛ, но и дает возможность контролировать качество данных.
- **Удобство доступа.** Нейтронные мониторы располагаются в легкодоступных местах, часто прямо в научном учреждении, что облегчает их контроль, ремонт и модернизацию.
- **Простые атмосферные эффекты.** В отличие от ионизационных камер и мюонных детекторов в данных нейтронных мониторов намного легче делать поправки на атмосферные эффекты. Как правило, зависимостью от температуры можно пренебречь, а учет атмосферного давления осуществляется просто и достаточно точно (например, Дорман, 1972).
- **Защита.** Нейтронные мониторы работают под защитой атмосферы и магнитосферы Земли и сами (в отличие от спутников) хорошо защищены от радиационных воздействий.
- **Обмен данными.** С самого начала данные нейтронных мониторов были открыты и общедоступны. Это способствовало и способствует их популярности, а также улучшает их качество.
- **Продолжительность работы.** Нейтронные мониторы работают непрерывно десятки лет, и можно планировать их надежную работу на многие годы вперед. Накоплены длинные ряды однородных данных, которые уникальны и со временем увеличивают свою ценность.

Проблемы сети и глобальные методы обработки данных

Легко догадаться, что там, где есть преимущества, должны быть и недостатки. Разумеется, и у нашей медали, как водится, две стороны. Главная проблема нейтронных мониторов в том, что будучи созданными для изучения первичных космических лучей сами первичные КЛ они совсем не регистрируют. А регистрируют они вторичные космические лучи – нейтроны, созданные в атмосфере и недавно бывшие ее частью.

Та самая атмосфера Земли, которая так удачно дополняет нейтронные мониторы, не пропускает к ним первичные частицы. Возникает вопрос: как изменения вторичных (и даже далеко не первого поколения) космических лучей связаны с вариациями первичных КЛ, с модуляцией КЛ? Ответом на этот вопрос стала теория коэффициентов (функций) связи, созданная (см. Дорман, 1957) давно и являющаяся основой практически любой методики

обработки данных нейтронных мониторов. Регистрируя частицы, созданные в атмосфере, и делая это, находясь внутри атмосферы, мы вынуждены считаться с тем, что на изучаемые внеземные эффекты накладываются изменения атмосферы. Чтобы это правильно учитывать, была разработана теория метеорологических эффектов КЛ (Дорман, 1972).

Но уже и на границу атмосферы приходят измененные космические лучи. Они остаются первичными, но магнитное поле Земли меняет их направление, и для сравнительно небольших энергий (< 5 ГэВ) это изменение может быть весьма велико (Дорман, Смирнов, Тясто, 1971). Влияние магнитосферы приводит, в частности, к тому, что большая часть скорости счета для станций КЛ, расположенных около полярного круга, обусловлена первичными КЛ, входящими в околоземное пространство вблизи земного экватора.

Влияние магнитосферы и атмосферы Земли делает обработку данных наземных наблюдений достаточно сложной. За последние десятилетия создано много методик обработки данных, позволяющих от измерений нейтронных мониторов переходить к характеристикам первичных КЛ за пределами атмосферы и магнитосферы. Наиболее эффективными методами являются глобальные методы, объединяющие все станции мировой сети НМ. Они наиболее успешно развивались в СССР, а позднее в России. Один из самых первых и одновременно наиболее продуманных из глобальных методов был предложен в Якутске, коллективом авторов под руководством Г.Ф. Крымского (Крымский и др. 1966; Крымский и др., 1981) и был назван ими методом глобальной съемки. На несколько лет позже в ИЗМИРАНе был разработан свой метод. Он создавался независимо от якутского, но в основных идеях на него похож, и мы, признавая заслуги первопроходцев, называем свои методики различными вариантами метода глобальной съемки (Belov et al., 2007). Другой оригинальный метод много лет создавался в Иркутске (например, Richardson et al., 2000) и стал самым сложным и многоцелевым из существующих в мире методов обработки данных нейтронных мониторов.

Здесь мы не будем подробно обсуждать методические вопросы, заслуживающие отдельного долгого разговора. Скажем только, что уже разработанные методы позволяют свести к минимуму проблемы сети нейтронных мониторов и в значительной мере использовать ее преимущества.

Почему нейтронных мониторов должно быть много?

Время от времени я слышу один и тот же вопрос: зачем столько нейтронных мониторов? Может быть, хватило бы одного-двух десятков? А то их более полусотни, а вам все мало. Да, мало. Чтобы использовать все преимущества, которые нам дают магнитосфера и атмосфера Земли, нужно много нейтронных мониторов. Действительно, чтобы определять энергетическую зависимость первичных КЛ, надо иметь детекторы на различных геомагнит-

ных широтах и на различных высотах. Еще более требовательна анизотропия КЛ. Чтобы ее надежно определять, нужно иметь достаточно равномерное и частое распределение детекторов по земному шару. Каждый из нейтронных мониторов ценен по-своему, и их ценность может кардинально меняться в зависимости от решаемой задачи и наблюдаемого природного явления. Так, например, как для определения жесткостной (энергетической) зависимости галактических КЛ, так и для наблюдения солнечных нейтронов нужны низкоширотные детекторы. Но для первой задачи особенно ценны мониторы на уровне моря, а для второй – самые высокогорные мониторы.

Поговорим подробнее о чувствительности нейтронных мониторов к различным составляющим вариаций галактических КЛ. В методе глобальной съемки используется разложение интенсивности КЛ по сферическим гармоникам (Крымский и др., 1981; Nagashima, 1971).

Почти для всех модуляционных эффектов достаточно использовать три первые гармоники (нулевую, первую и вторую), а для широкого круга задач достаточно и первых двух. Можно записать вариацию δ скорости счета наземного детектора как сумму вариаций, обусловленных изменениями плотности КЛ, северо-южной и солнечно-суточной составляющих первой гармоники анизотропии, а также изменениями второй зональной, асимметричной суточной и полусуточной составляющих второй гармоники:

$$\delta = \delta_0^0 + \delta_1^0 + \delta_1^1 + \delta_2^0 + \delta_2^1 + \delta_2^2 = c_0^0 a_0^0 + c_1^0 a_1^0 + c_1^1 a_1^1 \cos(\varphi + \varphi_1^1 - \chi_1^1) + \\ + c_2^0 a_2^0 + c_2^1 a_2^1 \cos(\varphi + \varphi_2^1 - \chi_2^1) + c_2^2 a_2^2 \cos(2\varphi + 2\varphi_2^2 - 2\chi_2^2),$$

где a_0^0 – амплитуда изотропной вариации первичных КЛ; a_1^0 и a_1^1 – амплитуды северо-южной и солнечно-суточной составляющих анизотропии; a_2^0 , a_2^1 и a_2^2 – амплитуды второй зональной, асимметричной суточной и полусуточной составляющих; $\varphi + \varphi_m^k$ – эффективная долгота станции для регистрации различных составляющих анизотропии, складывающаяся из географической долготы и эффективного сдвига, обусловленного магнитосферой; c_m^k ($m = 0 \dots 2$, $k \leq m$) – это приемные коэффициенты (McCracken et al., 1965; Крымский и др., 1981; Nagashima, 1971,) данного детектора i для соответствующих компонент вариации. Величины c_m^k определяются положением станции (широтой, жесткостью геомагнитного обрезания, массой столба воздуха над детектором), жесткостным спектром первичных КЛ и особенностями детектора. Анализ приемных коэффициентов помогает понять роль той или иной станции в регистрации различных составляющих вариаций и в определении характеристик этих составляющих. Обычно мы используем приемные коэффициенты, рассчитанные Yasue et al. (1971) для минимума солнечной активности, а в тех случаях, когда эти данные отсутствуют, – свои собственные расчеты и интерполяции.

Изотропная вариация

Рассмотрим сначала (Moraal et al., 2000) как распределяется по нейтронным мониторам мировой сети эффект изменения плотности первичных КЛ (или коэффициент c_0^0 , что то же самое). Для наглядности и определенности примем, что вариация плотности для первичных частиц с жесткостью 10 ГВ равняется 1%. Соответствующее этому распределение изотропной вариации по работающим сейчас станциям показано на рис. 5 для двух степенных жесткостных спектров $R^{-\gamma}$ первичной вариации с показателями $\gamma = -1,0$ (слева) и $\gamma = -0,5$ (справа).

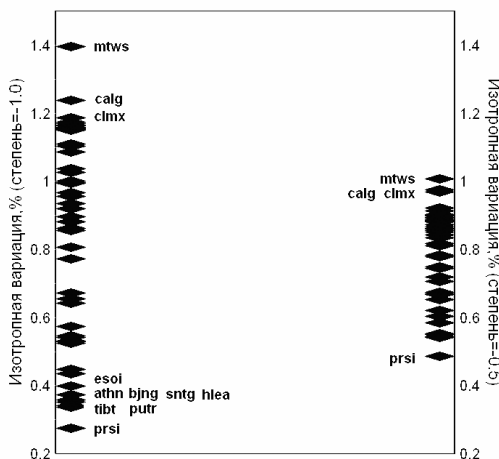


Рис. 5. Распределение ожидаемой изотропной вариации на работающих сейчас нейтронных мониторах для двух степенных жесткостных спектров $R^{-\gamma}$ первичной вариации с показателями $\gamma = -1,0$ (слева) и $\gamma = -0,5$ (справа)

Можно считать, что здесь нейтронные мониторы расставлены по их способности регистрировать модуляцию КЛ. Наибольшей такой способностью обладают станции Mount Vashington (mtws), Calgary (calg) и Climax (clmx). Еще несколько лет назад выделялась в этом отношении антарктическая станция South Pole, недавно закрытая (хочется надеяться, временно). Благодаря сочетанию своей широты и высоты она (если взять всю историю наблюдений КЛ, уступает только другой высокогорной антарктической станции «Восток» (советская станция, не работающая с 1983 г.). Если на ст. South Pole при $\gamma = -1,0$ изотропная вариация $\delta_0 = 1,46\%$, то на ст. «Восток» она была бы $1,77\%$. Наименьшим откликом на модуляцию КЛ среди работающих нейтронных мониторов обладает недавно открытая тайландская станция (ст. Princess Sirindhorn – prsi). Выделяются также станции Beijing, Emilio Segre Observatory, Tsumeb, Mexico. Рис. 5 показывает как меняется распределение изотропного эффекта по станциям при умеренном изменении наклона спектра. При переходе от $\gamma = -1,0$ к $\gamma = -0,5$ вариация на среднеширотных нейтронных мониторах почти не изменяется, на высоких широтах она уменьшается, а на низких увеличивается. Наибольшие изменения вариации наблюдаются на станциях с максимальными и минимальными коэффициентами c_0^0 . Именно эти станции наиболее ценны для определения наклона и формы жесткостного спектра вариации, причем станции с минимальной чувствительностью к модуляции

не менее важны, чем станции с максимальной чувствительностью. Если на верхнем конце коэффициентов c_0^0 ситуация благоприятная и существующая сеть нейтронных мониторов достаточно полно использует возможности наземных наблюдений, то на нижнем конце это совсем не так. Известно (Smart and Shea, 1997), что на Земле (в Юго-Восточной Азии и Индийском океане) есть пункты, где жесткость геомагнитного обрезания может достигать 17,6 ГВ. На работавших же до недавнего времени станциях максимальная $R_c = 13,3$ ГВ (Haleakala), а если говорить только о станциях, близких к уровню моря, то максимальная R_c около 9,6 ГВ (Beijing). Недавно открытая в районе максимальных жесткостей геомагнитного обрезания новая станция Princess Sirindhorn (R_c около 16,8 ГВ) только частично решает эту проблему. Это высокогорная станция, а в горах вариации КЛ больше. Но еще важнее то, что высокогорные вариации труднее моделировать. Нагляднее всего будет вспомнить, что наклон жесткостного спектра вариации КЛ можно определять прямым дифференцированием зависимости наблюдаемой вариации от R_c . Сейчас это возможно только в диапазоне жесткостей 2–9,5 ГВ. Таким образом, имеющаяся сейчас сеть нейтронных мониторов использует только половину земного диапазона жесткостей обрезания. На работавших ранее станциях, таких, как Kodaikanal ($R_c \approx 17,5$ ГВ), Lae, Ahmedabad, изотропная вариация при $\gamma = -1,0$ была бы не 0,35%, как на ст. Haleakala, а 0,25–0,26%. А минимально возможная при этих условиях на уровне моря вариация 0,22%. Все еще сохраняется возможность изменить сеть нейтронных мониторов таким образом, что диапазон надежного определения спектра вариации по данным мониторов существенно расширится, а точность такого определения существенно возрастет.

Первая гармоника анизотропии

Пусть амплитуды северо-южной и солнечно-суточной анизотропии первичных КЛ равняются 1% при жесткости $R < 100$ ГВ и 0 при $R \geq 100$ ГВ. Распределение северо-южной (С-Ю) составляющей анизотропии и амплитуды солнечно-суточной вариации для этого случая на работающих сейчас станциях показано на рис. 6. Большинство нейтронных мониторов мировой сети собирают частицы с приэкваториальной зоны и только несколько приполярных станций способны «видеть» частицы, приходящие с высоких асимптотических широт. Только эти станции и годятся для наблюдения северо-южной анизотропии. В Северном полушарии это ст. Thule, в Южном полушарии – McMurdo и Terre Adelje. Особенно хороша пара станций Thule и McMurdo. Они максимально и симметрично реагируют на С-Ю анизотропию, одинаково – на изменения плотности КЛ и почти не реагируют на экваториальную анизотропию и геомагнитные вариации. Поэтому вполне разумно использовать полуразность вариаций на этих станциях для оценки

амплитуды С-Ю анизотропии, а полусумму – вместо изотропной вариации, как это делали, например, Pomerantz и Duggal (1972). У современной сети нейтронных мониторов достаточно возможностей для выделения С-Ю анизотропии, но ограниченное число станций с большими c_1^0 делает такое выделение не всегда надежным. Так, например, нельзя исключить, что вариации атмосферного или аппаратурного происхождения могут быть приняты за изменения С-Ю анизотропии. Когда-то у ст. Thule был полноценный дублер, – ст. Алерт. С сожалением приходится вспоминать и такие закрытые станции, как Resolute (на севере), «Восток», Wilkes, Syowa (в Антарктиде). С другой стороны, недавно появившаяся российская станция «Баренцбург» ближе всех по своим параметрам к ст. Thule и в какой-то мере может ее заменить.

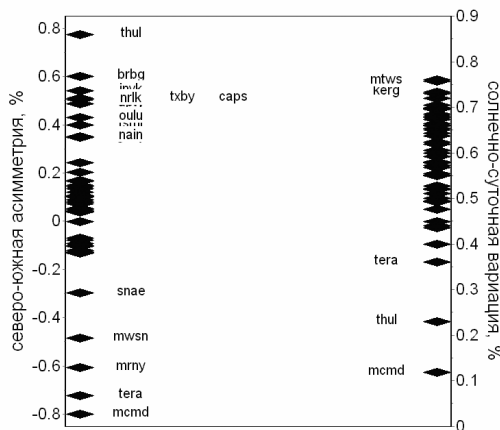


Рис. 6. Распределение ожидаемого вклада от северо-южной (слева) и солнечно-суточной (справа) составляющих анизотропии КЛ в вариации работающих сейчас нейтронных мониторов



Рис. 7. Распределение существующих нейтронных мониторов по асимптотическим долготам

Наибольший отклик на солнечно-суточную вариацию имеют станции с широтой около 50° и жесткостью обрезания около 1 ГВ (Calgary, Kerguelen). Однако здесь нет явных лидеров и почти нет явных аутсайдеров. Почти все станции мировой сети способны наблюдать солнечно-суточную вариацию и все вместе дают уникальную информацию об угловом распределении КЛ. Насколько полна эта информация? Посмотрим, как распределены станции по асимптотическим долготам (рис. 7). Здесь даны величины $\varphi + \varphi_1^1$, характеризующие эффективное положение станции при регистрации первой гармоники анизотропии, для всех существующих станций. Мы

видим весьма неоднородное распределение, отражающее неоднородность распределения воды, суши и научных исследований на земном шаре. Особенно плохо обеспечен диапазон долгот, соответствующий Тихому и Атлантическому океанам.

Для другого жесткостного спектра анизотропии распределение амплитуды и фазы солнечно-суточной вариации может существенно измениться. Причем на высокоширотных станциях с максимальной чувствительностью к солнечно-суточной анизотропии эти изменения невелики, а на средне- и низкоширотных станциях, приемный конус которых размазан по долготе, они значительно больше (Yasue et al., 1982). Именно средне- и низкоширотные станции особенно важны для определения жесткостного спектра анизотропии. Иногда простого сопоставления суточных волн, наблюдаемых на двух таких станциях, достаточно для оценки характеристик спектра, в то время как все станции высокоширотного кольца для этого ничего дать не могут.

Вторая гармоника анизотропии

Ситуации с определением солнечно-суточной и полусуточной (a_2^2) вариаций схожи. Наибольшие амплитуды a_2^2 и a_1^1 наблюдаются на относительно высоких широтах на одних и тех же станциях. Наиболее чувствительны к изменениям жесткостного спектра полусуточной анизотропии низкоширотные станции. В целом работающая сейчас сеть достаточна для определения характеристик полусуточной анизотропии, включая форму ее спектра.

Определение других компонент второй гармоники предъявляет более специфические требования. При выделении второй зональной компоненты анизотропии определяющими являются те же приполярные станции, что и для северо-южной анизотропии, но на этот раз не сами по себе, а вместе с низкоширотными станциями. Существует реальная трудность в разделении второй зональной компоненты и изотропной вариации. Решить эту проблему можно только с помощью точного описания спектра изотропной вариации и при достаточно большом количестве станций с большой жесткостью обрезания. Большая асимметричная суточная анизотропия (a_2^1) наблюдается только на ограниченном числе нейтронных мониторов, расположенных вблизи полярного круга (ст. Inuvik, Apatity, Tixie, Cape Smidt). Это как раз зона высокоширотного кольца (Spaceship Earth, Bieber et al., 2004), и при использовании станций этого кольца следует помнить о возможном смещении суточных вариаций от первой и второй гармоник анизотропии. При использовании всей существующей сети нейтронных мониторов эти вариации вполне возможно разделить, хотя недостаток станций в Южном полушарии ощущается.

Нейтронные мониторы и долгопериодные вариации

Вариации КЛ были открыты и начали изучаться задолго до изобретения нейтронных мониторов (например, Дорман, 1957). Однако вначале это были вариации атмосферного происхождения. А среди вариаций внеземного происхождения вначале были обнаружены короткопериодические. Чтобы выделить и исследовать долгопериодные вариации КЛ, обусловленные солнечными циклами, естественно, понадобилось время для накопления результатов.



Рис. 8. Вариации плотности КЛ с жесткостью 10 ГВ в 1977–2007 гг., полученные из данных мировой сети нейтронных мониторов (наблюдения) и рассчитанные на основе солнечных индексов (модель)

В мире не так много вещей, которые улучшаются со временем. Данные нейтронных мониторов — это одна из них. Данные сети нейтронных мониторов можно считать достаточно однородными начиная с 1957 г. (в некоторых отношениях даже с 1953 г.). В солнечно-земной физике не много столь же длинных однородных рядов данных. Рис. 8 показывает поведение КЛ (10 ГВ), полученное из всех доступных данных нейтронных мониторов. Эти вариации сопоставляются с модельными расчетами, основанными на изменениях солнечных параметров. В основном это крупномасштабные характеристики магнитного поля Солнца, определяемые на поверхности источника солнечного ветра (<http://quake.stanford.edu/~wso>): его напряженность, усредненная по диску; величина полярного поля; наклон гелиосферного токового слоя (например, Belov, 2000; Гущина и др., 2008). Можно видеть, что модель хорошо согласуется с наблюдениями в течение трех последних солнечных циклов. Похожие данные для космических лучей имеются и для двух более ранних циклов — 19-го и 20-го. Но для этого времени нет надежных данных для солнечных параметров, использованных в модели. Для этих периодов мы имеем право делать обоснованные предположения об изменениях солнечной активности на основании данных нейтронных мониторов.

Нейтронные мониторы и анизотропия КЛ

В отличие от мюонных телескопов нейтронные мониторы не дают информации о направлении прихода регистрируемых частиц, и один монитор анизотропию КЛ непосредственно не измеряет. Но мировая сеть НМ – это прекрасный инструмент для измерения анизотропии, и большая часть наших знаний об анизотропии КЛ получена с помощью нейтронных мониторов.

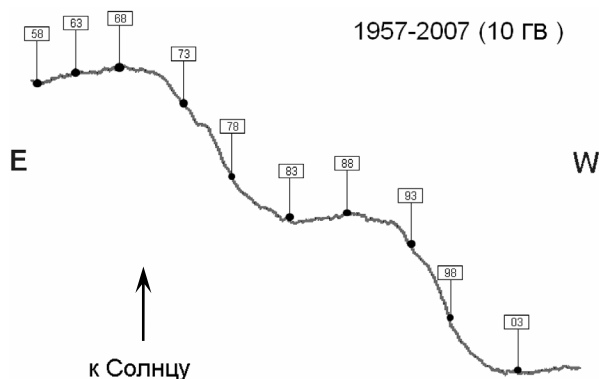


Рис. 9. Векторная диаграмма солнечно-суточной анизотропии КЛ в 1957–2007 гг., полученная из часовых данных нейтронных мониторов после обработки методом глобальной съемки

Рис. 9 – это зацепленная векторная диаграмма, составленная из векторов экваториальной составляющей первой гармоники анизотропии КЛ (или солнечно-суточной анизотропии, что то же самое), найденных за каждый час за 51 год. Долгопериодное поведение анизотропии КЛ весьма регулярно и хорошо отражает солнечную цикличность. Первое, что бросается в глаза, – это солнечный (22-летний) магнитный цикл, который управляет фазой анизотропии (например, Forbush, 1973). Это управление столь очевидно, что одних наблюдений космических лучей было бы достаточно, чтобы догадаться о существовании магнитного цикла. В отличие от фазы амплитуда анизотропии подчиняется 11-летнему циклу солнечной активности (Крымский и др. 1981; Belov et al., 2006). Заметим, что со временем картина солнечной цикличности в анизотропии КЛ добавляет в красоте и убедительности. Конечно, и информативность добавляется. Эта картина содержит ценные сведения о долговременных изменениях структуры гелиомагнитосферы и пространственном распределении галактических КЛ.

Показанная здесь регулярная картина драматически изменяется, если перейти к меньшим временным масштабам. Опять же именно данные нейтронных мониторов показали, что анизотропия галактических КЛ иногда (как правило, во время прихода к Земле больших межпланетных возмущений)

существенно увеличивается, в отдельные часы достигая 10% (например, Belov, 2009). В эти периоды анизотропия КЛ претерпевает быстрые и значительные изменения, которые отражают структуру и динамику межпланетных возмущений. Таким образом, изменения анизотропии, определяемой по данным нейтронных мониторов, – это история солнечного ветра. Эта история постоянно дополняется и распространяется и на те периоды, когда прямых измерений солнечного ветра не было (Belov, 2009; Asipenko et al., 2008).

Нейтронные мониторы и Форбуш-понижения

Форбуш-понижения (ФП, другое название Форбуш-эффекты) – это, возможно, самые яркие и разнообразные явления в вариациях КЛ (Lockwood, 1981; Cane, 2000; Belov, 2009), обусловленные выбросами солнечного вещества (СМЕ) или высокоскоростными потоками солнечного ветра из корональных дыр. Они были открыты в 1937 г. (Forbush, 1937, 1938), задолго до изобретения нейтронных мониторов, но именно нейтронные мониторы дали и продолжают давать основную часть сведений о Форбуш-эффектах. В ИЗМИРАНе создана база данных Форбуш-эффектов и межпланетных возмущений, основанная на изменениях плотности и анизотропии КЛ, рассчитанных по данным мировой сети нейтронных мониторов за каждый час в 1957–2008 гг. Она включает в себя более 5000 событий.

На рис. 10 показаны моменты только самых больших из них, которые обычно создаются выбросами солнечного вещества (СМЕ). В 19–20-м солнечных циклах СМЕ не могли наблюдаться, да и позднее их наблюдения были неполными. Однако Форбуш-эффекты дают полную историю геоэффективных выбросов солнечного вещества. Другие особенности Форбуш-эффектов:

- изменения плотности и анизотропии КЛ во время ФП отражают структуру межпланетных возмущений (ударные волны, границы магнитных облаков и т. п.);
- изменения в КЛ начинаются задолго до прихода возмущений солнечного ветра к Земле и могут быть их предвестником;
- Форбуш-эффекты, как правило, наблюдаются одновременно с геомагнитными и ионосферными возмущениями, и их наблюдения могут использоваться для геомагнитных и ионосферных прогнозов;
- частота и величина Форбуш-понижений отражает изменения солнечной активности и может использоваться для анализа и прогноза всплесков солнечной активности (Belov et al., 2007).

Все это повышает ценность наблюдений Форбуш-эффектов и данных нейтронных мониторов.

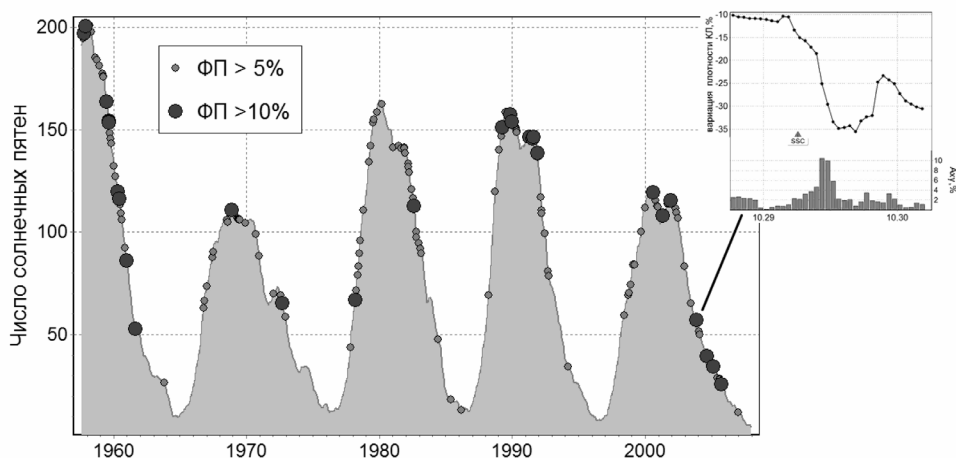


Рис. 10. Моменты больших Форбуш-понижений (ФП) в 1957–2007 гг. на фоне изменений сглаженных чисел пятен. Показаны ФП с величиной $> 5\%$ и $> 10\%$ для вариаций плотности КЛ с жесткостью 10 ГВ. Отдельно даны вариации плотности и амплитуды солнечно-суточной анизотропии КЛ (10 ГВ) во время самого большого в истории Форбуш-понижения 29 октября 2003 г.

Регистрация и изучение солнечных космических лучей

Спутники более приспособлены для наблюдения солнечных КЛ, и спутниковые детекторы регистрируют возрастания солнечных КЛ (их нередко называют протонными возрастаниями) намного чаще, чем наземные. Зато наземные возрастания (GLE) – это самые большие из протонных возрастаний и привлекают больше всего внимания (например, Shea and Smart, 1990; Miroshnichenko, 2001).

Первые GLE наблюдались в начале 1940-х еще до изобретения нейтронных мониторов, но уже в 1949 г. один из первых экспериментальных мониторов Симпсона регистрировал GLE под номером 4, а GLE от пятого (в феврале 1956 г.) до последнего, семидесятого (в декабре 2006 г.) уже полноценно наблюдались нейтронными мониторами. Во время самых больших из наземных возрастаний солнечных КЛ скорость счета нейтронного монитора может возрастать в разы и даже в десятки раз, как это видно из рис. 11.

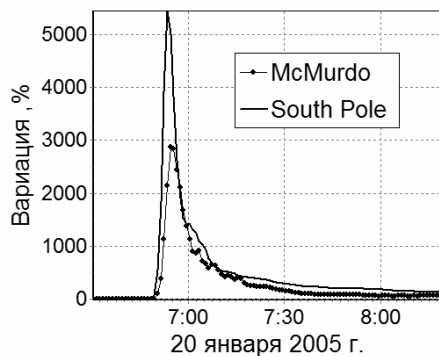


Рис. 11. Возрастание скорости счета антарктических нейтронных мониторов во время наземного возрастания солнечных КЛ 20 января 2005 г.

Во время таких больших наземных возрастаний потоки ускоренных частиц меньших энергий возрастают на несколько порядков и представляют собой не только интересный материал для ученых, но и существенную радиационную опасность для космонавтов и электронных устройств. Поскольку протонное возрастание на поверхности Земли начинается и проходит быстрее, чем в открытом космосе, данные нейтронных мониторов имеют, помимо всего прочего, и прогностическую ценность.

Нейтронные мониторы и другие способы измерения космических лучей

В ранний период развития космических исследований часто приходилось слышать, что измерения космических лучей на спутниках Земли и других космических аппаратах быстро заменят наземные измерения. Казалось, что прямые наблюдения первичных КЛ намного надежнее и информативнее возни с вторичными компонентами. Однако жизнь показала, что это не так. Выяснилось, что разные типы измерений КЛ не могут вполне заменять друг друга, зато способны друг друга хорошо дополнять. Спутники незаменимы при наблюдении малоэнергичных частиц, при наблюдении солнечных и аномальных КЛ. Наземные измерения – главный способ изучения галактических КЛ, а нейтронные мониторы – главный наземный детектор КЛ. Последнее утверждение никоим образом не отрицает важности других видов измерений – стратосферных, мюонных наземных и подземных и др.

Что касается спутниковых и других наблюдений в открытом космосе, то чем важнее и продолжительнее космическая миссия, тем более нуждается она в наземной поддержке, тем чаще востребованы данные тех же нейтронных мониторов.

Примером такой миссии может послужить чрезвычайно успешный полет аппарата «Ulysses», который во многом обеспечил современное понимание структуры гелиосферы и ее циклических изменений. По сравнению с «Ulysses», который летал в широком диапазоне гелиорадиусов и гелиоширот, Земля, можно сказать, находилась в неподвижности. Поэтому вариации КЛ, наблюдавшиеся на Земле нейтронными мониторами, использовались для разделения пространственных и временных вариаций в данных «Ulysses» (Belov et al., 1999).

Одним из результатов такой работы стало распределение высокоэнергичных КЛ во внутренней гелиосфере в периоды низкой (1994–1996) и высокой (1998–2001) солнечной активности. В минимуме активности плотность КЛ сильно зависит от гелиодолготы и почти не зависит от расстояния до Солнца. В максимуме, напротив, широтная зависимость уменьшается, а радиальная становится главной.

Перспективы мировой и российской сетей нейтронных мониторов

В новом тысячелетии нейтронные мониторы не только не собираются уходить со сцены, но и переживают новый расцвет. В последние годы были открыты 3 новых НМ на севере Канады, российские мониторы на Шпицбергене и на Баксане, высокогорные станции на Тибете и в Таиланде. Некоторые станции, например, «Афины» (Греция) или российская антарктическая станция «Мирный», возродились после долгого перерыва.

Данные нейтронных мониторов вышли в Интернет и доступны в режиме реального времени. Первой станцией, представившей данные в реальном времени еще в 1997 г., стала ст. «Москва» (ИЗМИРАН). Сейчас таких станций два с половиной десятка. В 2008–2009 гг. при активнейшем участии России выполнен европейский проект (<http://www.nmdb.eu>) по созданию базы данных нейтронных мониторов, в реальном времени собирающей и накапливающей данные НМ. В результате данные нейтронных мониторов становятся все привлекательнее для людей и организаций, решающих задачи космической погоды.

Давно не вызывает удивления, когда на какой-то международной конференции нейтронные мониторы упоминаются в большинстве докладов в разделе солнечно-земной физике. Неудивительны упоминания НМ в работах по астрофизике, ядерной физике и геофизике. Конечно, можно считать казусом, что данные нейтронных мониторов (успешно?!) используются в игре на бирже. Но, как показывает практика, эти данные, действительно, со временем используются все шире и шире в самых неожиданных областях и исследованиях. От инженерных приложений до биологии и медицины. Как один из возможных примеров вспомним, что в последние годы слова «космические лучи» и «нейтронные мониторы» часто встречаются вместе со словами «погода» и «климат».

Несмотря на почтенный возраст (седьмой десяток как-никак), нейтронные мониторы еще не раскрыли всех своих возможностей, и их главные успехи, я верю, впереди. Но нет сомнений, что этот проект можно считать успешным. В успехе любого дела решающее значение имеет то, какие идеи в него были вложены и какие люди это сделали. В создание мировой сети нейтронных мониторов были заложены верные идеи, и это сделали правильные люди. Одним из них был Сергей Николаевич Вернов. И у нас, и у наших потомков еще будет много поводов выразить ему свою благодарность за это.

Автор благодарен Р.Т. Гущиной, Е.А. Ерошенко, В.А. Оленевой, В.Г. Янке и другим исследователям, в сотрудничестве с которыми были получены представленные здесь результаты.

Советские и российские нейтронные мониторы

Название	Сокр. назв.	Тип	Широта, град.	Долгота, град.	Высота, м	Период работы	
						начало	конец
Алма-Ата а	aata	6НМ64	43,3	76,9	775	1957.07.01	работает
Алма-Ата b	aatb	18НМ64	43,1	76,5	3340	1973.08.01	работает
Алма-Ата с	aatc	6НМ64	43,2	76,9	1670	1980.01.01	1982.12.31
Апатиты	apti	МГТ	67,5	33,3	177	1961.06.01	1968.08.31
Апатиты	apty	18НМ64	67,5	33,3	177	1962.01.01	работает
Баксан	bksn	6НМ64	43,3	42,7	1700	2003.10.01	работает
Баренцбург	brbg	18НМ64	78,1	14,4	0	2004.03.04	работает
Мыс Шмидта	capl	МГТ	68,9	180,5	0	1967.05.01	1969.03.31
Мыс Шмидта	caps	12НМ64	68,9	180,5	0	1981.01.01	работает
Нор-Амберд	ervn	18НМ64	40,5	44,2	2000	1988.01.01	работает
г. Арагац	erv3	18НМ64	40,5	44,2	3200	2000.03.18	работает
о. Хейса	heis	МГТ	80,6	58,0	20	1958.01.01	1968.01.01
Иркутск	irkt	18НМ64	52,5	104,0	433	1957.12.01	работает
Иркутск-2	irk2	12НМ64	51,4	100,5	2000	1985.01.01	работает
Иркутск-3	irk3	6НМ64	51,3	100,5	3000	1985.02.01	работает
Хабаровск	khav	18НМ64	48,5	135,2	0	1971.01.01	1977.03.31
Киев	kiev	8НМ64	50,7	30,3	120	1969.09.01	1998.04.30
Магадан	mgdn	18НМ64	60,1	151,0	220	1971.01.01	работает
Мирный	mrny	12НМ64	–66,6	93,0	30	1958.04.01	работает
Москва	mosc	24НМ64	55,5	37,3	200	1958.01.06	работает
Мурманск	murm	МГТ	69,0	33,1	0	1958.12.01	1961.12.31
Норильск	nrkl	18НМ64	69,3	88,0	0	1971.01.01	работает
Новосибирск	nvbk	24НМ64	54,8	83,0	163	1971.01.01	работает
Октемцы	ykt2	12НМ64	61,7	129,4	100	1972.01.01	1987.07.01
Самарканд	samr	18НМ64	39,6	66,9	830	1989.01.01	1990.12.31
Симферополь	smfr	МГТ	44,7	34,0	570	1961.01.01	1965.01.31
Свердловск	sver	18НМ64	56,4	58,6	300	1973.05.01	1988.02.23
Ташкент	tash	18НМ64	41,2	69,4	565	1975.01.01	1992.12.31
Тбилиси	tbis	18НМ64	41,7	44,8	510	1963.01.01	работает
Тбилиси	tbli	МГТ	41,7	44,8	510	1958.01.01	1969.09.30
Б. Тикси	txby	18НМ64	71,4	128,5	15	1966.08.01	работает
Восток	vstk	МГТ	–78,5	106,8	3490	1979.01.01	1982.12.31
Якутск	ykti	18НМ64	62,0	129,4	105	1971.04.01	работает
Якутск-М	ykti	МГТ	62,0	129,4	105	1957.07.01	1969.11.30

Литература

- Белов А.В., Ерошенко Е.А., Янке В.Г.. Исключительно большое наземное возрастание солнечных космических лучей 23 февраля 1956 г. по данным нейтронных мониторов. – Геомагнетизм и Аэрон., 45, N3, 359–372, 2005.
- Гущина Р.Т., Белов А.В., Обридо В.Н., Шельтинг, Б.Д. Проявления циклических вариаций солнечного магнитного поля в долгопериодной модуляции космических лучей, Геомагнетизм и Аэрон., 48, 5, 571–577, 2008
- Дорман Л.И. Вариации космических лучей. – М.: Гостехиздат, 1957.

- Дорман Л.И. Вариации космических лучей и исследование космоса. М.: Изд-во АН СССР. 1963.
- Дорман Л.И., Смирнов В.С., Тясто М.И., Космические лучи в магнитном поле Земли. М., 1971.
- Дорман Л.И. Метеорологические эффекты космических лучей. М.: Наука, 211 с. 1972.
- Дорман И.В., Космические лучи, ускорители и новые частицы, Москва, Наука, 229 с., 1989.
- Krymsky, G.F., Kuzmin, A.I., Chirkov, N.P., Krivoshapkin, P.A., Skripin, G.V., Altukhov, A.M.: 1966, Distribution of Cosmic Rays and Acceptance Vectors of The Detectors, *Geomagnetism and Aeronomia*, 6, 991–997.
- Крымский Г.Ф., Кузьмин А.И., Кривошапкин П.А. и др.// Космические лучи и солнечный ветер. 1981. Новосибирск: Наука, СО АН СССР. 224 с.
- Логачев Ю.И., М.И.Панасюк, Ю.И.Стожков. Сергей Николаевич Вернов и космические лучи, <http://www.kosmofizika.ru/history/vernov1-2.htm>, 2000.
- Распопов О. М., Кузьмин И. А., Харин Е. П. К 50-летию Международного Геофизического Года (1957–1958): от Международного Полярного года (1882–1883) до международного гелиофизического года (2007–2008) и Международного Полярного года (2007–2009) // *Геомагнетизм и Аэрономия*. Т. 47. № 1. С. 3–10. 2007.
- Adams N., *Philos. Mag.*, V41, 503, 1950.
- Belov A.V., E.A. Eroshenko, B. Heber, V.G. Yanke, P. Ferrando, A. Raviart, V. Bothmer, W. Dröge, H. Kunow, R. Muller-Mellin, K. Rohrs, G. Wibberenz and C. Paizis, Latitudinal and radial variation of > 2 GeV/n protons and α -particles in the northern heliosphere: Ulysses COSPIN/KET and neutron monitor network observations, *Advances in Space Research*, Volume 23, Issue 3, 443–447, 1999.
- Belov, A.V. Large-scale modulation: View from the Earth, *Space Science Reviews*, 93, 71–96, 2000.
- Belov, A.V. Forbush effects and their connection with solar, interplanetary and geomagnetic phenomena, *Universal Heliophysical Processes, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, Volume 257*, p. 439–450, 2009.
- Belov, E. Eroshenko and V. Yanke, Russian ground-level detectors of cosmic ray observations as a part of the world wide network: History and development, *Advances in Space Research*, Volume 44, Issue 10, p. 1207–1214, 2009.
- Bieber J.W., Evenson P., Dröge W., Pyle R., Ruffolo D., Rujiwarodom M., Tooprakai P., Khumlumert T., Spaceship Earth Observations of the Easter 2001 Solar Particle Event, *Astrophysical Journal*, Volume 601, Issue 1, pp. L103–L106 (2004).
- Cane H.V., CMEs and Forbush Decreases, in: *ISSI Space Science Series*, 10, Cosmic Rays and Earth, 41–62, 2000.
- Forbush, S. E. 1937. On the effects in cosmic-ray intensity observed during the recent magnetic storm. *Phys. Rev.* 51: 1108–1109.
- Forbush, S. E. 1938, On the World-Wide Changes in Cosmic-Ray Intensity, *Phys. Rev.* 54, 975.
- Forbush, S.E. 1973, *J.Geophys.Res.*, 78, 7933.
- Hatton, C. J., and Carmichael, H. Experimental Investigation of the NM-64 Neutron Monitor. *Canadian J. Phys.* 42, 2443–2472, 1964.
- Lockwood, J.A. Forbush decreases in the cosmic radiation, *Space Science Reviews*, Volume 12, Issue 5, pp.658–715, 1971.
- McCracken, K.G., Rao, U.R., Fowler, B.C., Shea, M.A., Smart, D. F.: 1965, 'Cosmic Ray Tables (Asimptotic Directions, Variational Coefficients and Cut-off Rigidities)', *IQSY Instruction Manual* 10, London.
- Meyer P.; Parker E. N.; Simpson J. A. (1956). Solar cosmic rays of February, 1956 and their propagation through interplanetary space. *Phys. Rev.* 104: 768–783. doi:10.1103/PhysRev.104.768. http://prola.aps.org/pdf/PR/v104/i3/p768_1.

- Miroshnichenko, L. I., *Solar Cosmic Rays*, Kluwer Academic publishers, 492 pp., 2001.
- Moraal, H., Belov, A., Clem, J. M. (2000). Design and coordination of multi-station international neutron monitor networks. *Space Science Reviews* 93: 285–303.
- Nagashima, K.: 1971, *Three-Dimensional Cosmic Ray Anisotropy in Interplanetary Space*, Report of Ionosphere and Space Research in Japan, 25, 189–211.
- Pomerantz, M.A., Duggal, S.P.: 1972, North-South anisotropies in the cosmic radiation, *J. Geophys. Res.*, 77, 263.
- Richardson, I.G., Dvornikov, V.M., Sdobnov, V.E., Cane, H.V.: 2000, 'Bidirectional particle flows at cosmic ray and lower (~1 MeV) energies and their association with interplanetary coronal mass ejections/ejecta', *J. Geophys. Res.*, 105, 12579-12592.
- Shea, M.A. and Smart, D.F.: 1990, A Summary of major solar proton events' *Solar Phys.* V.127. P. 297. 1990.
- Simpson, J.A., Jr.: 1948, The Latitude Dependence of Neutron Density in the Atmosphere as a Function of Altitude, *Phys. Rev.* 73, 1389.
- Simpson, J.A., *Cosmic-Radiation Neutron Intensity Monitor*, in *Annals of the IGY*, 1955.
- Simpson, J. A. (2000). The cosmic ray nucleonic component: The invention and scientific uses of the neutron monitor. *Space Science Reviews* 93: 11–32.
- Smart, D.F. and Shea, M.A. Probable pitch angle distribution and spectra of the 23 February 1956 solar cosmic ray event. // *Proc. 21st Int. Cosmic Ray Conf.*, Adelaide, Australia, v.5, 257–260, 1990.
- Smart, D.F., Shea, M.A.: 1997, 'World Grid of Calculated Cosmic Ray Vertical Cutoff Rigidities for Epoch 1990.0'. *Proc. 25th Int. Cosmic Ray Conf.*, 2, 401–404.
- Yasue, S., Mori, S., Sakakibara, S., Nagashima, K.: 1971, *Coupling Coefficients of Cosmic Ray Daily Variations for Neutron Monitor Stations*, Report of cosmic-ray research laboratory, 7, Nagoya, Japan.

ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ КОСМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

А.И. Акишин, Л.С. Новиков

НИИ ядерной физики МГУ

Основные направления исследований

Становление и развитие космического материаловедения как междисциплинарного научного направления, в задачи которого входят экспериментальные и теоретические исследования процессов, протекающих в материалах и элементах оборудования космических аппаратов (КА) под действием факторов космического пространства (ФКП), изучение вызываемых воздействием ФКП изменений свойств материалов и характеристик бортовых систем, создание новых материалов, разработка методов и технических средств защиты КА от неблагоприятного воздействия ФКП, во многом связано с именем С.Н. Вернова. Хотя проблемы космического материаловедения не были главными в сфере научных интересов Сергея Николаевича, он уделял им очень большое внимание, будучи с 1965 г. до своей кончины в 1982 г. председателем Секции № 2 Межведомственного координационного научно-технического совета (МКНТС), в компетенцию которой входили вопросы обеспечения стойкости материалов и оборудования КА к воздействию космической радиации и других ФКП. Помимо этого, мощным стимулом для развития космического материаловедения являлись непосредственные обращения к С.Н. Вернову выдающихся конструкторов отечественной космической техники с предложениями о проведении тех или иных исследований для предприятий космической отрасли.

Благодаря глубокому пониманию Сергеем Николаевичем важнейших задач, стоявших перед космической отраслью, и его личной инициативе, к середине 1960-х гг. были намечены приоритетные на тот период направления исследований в области космического материаловедения и определены возможности проведения исследований в НИИЯФ МГУ.

В последующие годы результатом большой научно-организационной работы, проводившейся С.Н. Верновым в Секции № 2 МКНТС и в Академии наук СССР, а после кончины Сергея Николаевича возглавившим Секцию № 2 в 1983 г. И.Б. Тепловым, явились утверждение на государственном уровне ряда научно-технических программ, направленных на обеспечение высокой радиационной стойкости материалов и бортовых систем КА, изу-

чение явления электризации КА в магнитосферной плазме и разработка методов защиты КА от воздействия эффектов электризации, создание системы Государственных стандартов для описания характеристик космической среды и механизмов ее воздействия на КА.

Следует отметить, что в 1960–1970-х гг. для реализации подобных программ выделялось достаточно значительное финансирование, позволявшее развивать экспериментальную базу и привлекать новых сотрудников.

Работы по изучению воздействия космической среды на материалы и элементы оборудования КА, в первую очередь по экспериментальному моделированию воздействия различных ФКП, были начаты в НИИЯФ МГУ в конце 1961 г. в Лаборатории ядерных реакций, руководимой С.С. Васильевым. Непосредственная организация этих работ была возложена на А.И. Акишина, а в 1965 г. в связи с их расширением в институте была создана Лаборатория космического материаловедения (ЛКМ) под руководством А.И. Акишина. В 1981 г. ЛКМ вошла в состав Отдела ядерных и космических исследований (ОЯКИ), возглавляемого И.Б. Тепловым, где проводимые исследования получили дальнейшее развитие. С 1993 г. руководителем ОЯКИ является Л.С. Новиков.

Первые лабораторные эксперименты проводились на действующих установках института (электромагнитном сепараторе, циклотроне), но по мере развития исследований и усложнения решаемых задач в ЛКМ были разработаны и введены в эксплуатацию различные оригинальные имитационные установки: высокочастотный газоразрядный имитатор ионосферной плазмы, имитатор ультрафиолетового излучения Солнца, ускоритель твердых микрочастиц для имитации микрометеорных потоков и марсианской пыли, установка для изучения комплексного воздействия ФКП.

Научная тематика ЛКМ развивалась в следующих основных направлениях:

- разработка научно обоснованных методов имитации воздействия космических корпускулярных излучений на материалы и элементы оборудования КА и исследование их радиационной стойкости;
- разработка методов имитации воздействия на материалы ионосферной плазмы и проведение соответствующих испытаний;
- исследование процессов формирования собственной внешней атмосферы КА и ее воздействия на материалы и элементы оборудования, находящиеся на внешней поверхности аппарата;
- разработка методов имитации потоков космической пыли и изучение воздействия таких потоков на материалы.

К концу 1960-х гг. были получены важнейшие результаты в этой новой тогда области, признанные у нас в стране и за рубежом [1, 2], предложены и осуществлены рекомендации по повышению радиационной стойкости материалов и бортового оборудования КА.

Был выполнен большой цикл работ по изучению радиационной стойкости фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) разных типов, используемых в солнечных батареях КА [3]. Рис. 1 иллюстрирует снижение эффективности ФЭП, изготовленных из разных полупроводниковых материалов, при облучении протонами с энергией 6,3 МэВ на циклотроне НИИЯФ.

Важным направлением работ являлось исследование радиационной стойкости терморегулирующих покрытий (ТРП), наносимых на поверхность КА для стабилизации теплового режима аппарата. В качестве таких покрытий часто используются белые эмали с малым значением коэффициента поглощения солнечного излучения $\alpha_s \sim 0,1-0,3$, состоящие из полимерного или керамического связующего и пигмента – окислов металлов (ZnO , TiO_2 , SrO_2 и др.), вводимых в связующее в виде порошков с размерами частиц $\sim 0,1-1$ мкм [3]. Под действием космического ионизирующего излучения белые ТРП окрашиваются, вследствие чего увеличивается коэффициент α_s . Наибольшее воздействие на ТРП, как и на ФЭП, оказывают протоны. На рис. 2 показана полученная в лабораторных экспериментах на ускорителе КГ-500 НИИЯФ зависимость приращения коэффициента поглощения $\Delta\alpha_s$ эмалевого ТРП от флюенса протонов с энергией 500 кэВ.

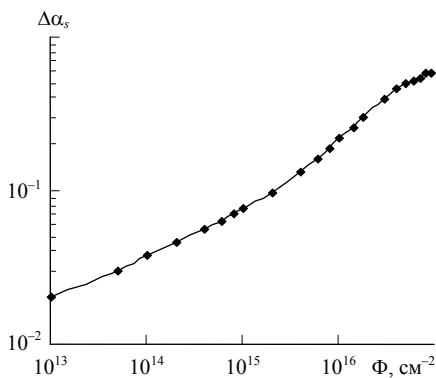


Рис. 2. Зависимость приращения коэффициента поглощения $\Delta\alpha_s$ эмалевого ТРП от флюенса протонов с энергией 500 кэВ

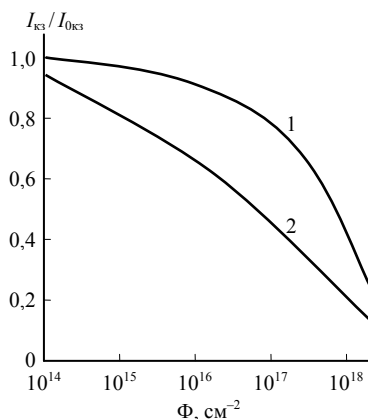


Рис. 1. Зависимость тока короткого замыкания $I_{кз}$ от флюенса протонов с энергией 6,3 МэВ для ФЭП из GaAs (1) и Si (2)

При изучении радиационной стойкости ФЭП исследовались также возможности их защиты от повреждающего воздействия протонов с помощью прозрачных покрытий. Для такой защиты используются главным образом специальные кварцевые стекла толщиной 0,1–0,5 мм, задерживающие значительную часть потока протонов в распределенном энергетическом спектре, характерном для частиц радиационных поясов Земли (РПЗ). Такие стекла в свою очередь должны быть радиационно стойкими, т. е. не должны окрашиваться под

действием космической радиации. В этой связи были проведены исследования радиационной стойкости стекол различного состава.

Радиационное окрашивание стекла в основном зависит от дозы и мощности дозы ионизирующего излучения и слабо зависит от его вида [3, 4]. В качестве примера на рис. 3 показана зависимость приращения оптической плотности ΔD_λ защитного кварцевого стекла от времени облучения протонами с энергией 6,3 МэВ при плотности потока $2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ для различных длин волн. С увеличением мощности дозы излучения равновесный уровень приращения оптической плотности стекол при одной и той же дозе излучения повышается.

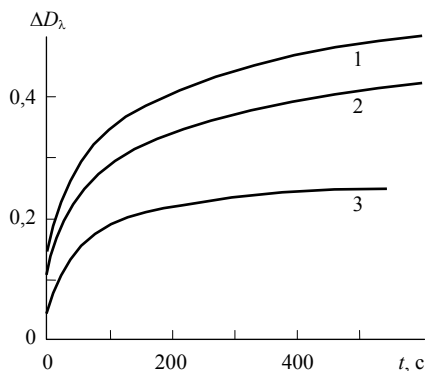


Рис. 3. Изменение оптической плотности стекла К-8 от времени облучения для длин волн: 1 – 0,45 мкм; 2 – 0,5 мкм; 3 – 0,6 мкм

Еще одним практически важным эффектом, возникающим в стеклах под действием ионизирующего излучения, является их свечение. При использовании стеклянных линз в разнообразной оптической аппаратуре КА свечение внешней линзы, вызванное космическим ионизирующим излучением, может служить помехой основному световому сигналу. Поэтому большое значение приобретает изучение люминесцентных свойств стекол, установление основных закономерностей выхода свечения в зависимости от состава образцов, измерение спектров, температурной зависимости свечения и т. д. [4, 5].

Параметрами свечения оптических материалов являются яркость и спектральный состав свечения. В экспериментах, проводившихся в ЛКМ, были получены основные зависимости этих параметров от условий облучения (вида, энергии, интенсивности, длительности), температурных условий, состава оптических стекол. На рис. 4 показаны зависимости основных параметров радиoluminesценции от поглощенного потока энергии при электронном облучении стеклянного образца потоком электронов.

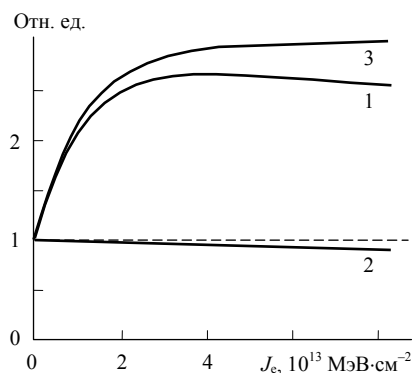


Рис. 4. Зависимость светового потока (1), коэффициента пропускания света собственной люминесценции (2) и люминесцентной способности (3) от поглощенного потока энергии электронного излучения J_e

Результаты исследований, проведенных в 1962–1978 гг. под руководством С.Н. Вернова, И.Б. Теплова и А.И. Акишина, вошли в цикл работ, удостоенных в 1979 г. Государственной премии.

Одиночные сбои в элементах микроэлектроники

По мере развития ракетно-космической техники, сопровождавшегося применением новых технологий при создании КА, повышением требований к надежности и срокам активного существования КА, освоением новых орбит и т. д., стали появляться задачи, требующие принципиально иных физических подходов и технических средств.

В качестве примера можно указать проблему сбоев в элементах микроэлектроники, вызываемых одиночными заряженными частицами космического излучения [6, 7]. Появление этой проблемы явилось, как это ни парадоксально, следствием технологического прогресса в микроэлектронике. С повышением степени интеграции микросхем, используемых в бортовой аппаратуре КА, электрические заряды, управляющие их работой, стали сопоставимыми по величине с зарядами, создаваемыми в веществе микросхемы за счет попадания отдельных заряженных частиц космического излучения.

В качестве критерия возникновения одиночных сбоев в элементах микроэлектроники можно использовать величину критического для элемента (транзистора) интегральной микросхемы заряда, образующегося за счет ионизации атомов вещества тормозящейся частицей. Для современных интегральных микросхем величина критического заряда составляет менее 10^{-12} Кл.

Возникновение одиночных сбоев связано с двумя механизмами образования заряда в веществе интегральной микросхемы под действием космической радиации. Первый обусловлен прямым процессом ионизации атомов тяжелыми ионами ($Z > 10$) галактических космических лучей (ГКЛ), а второй – ионизацией ядрами отдачи и вторичными фрагментами, возникающими при ядерных взаимодействиях протонов и легких ионов РПЗ и солнечных космических лучей (СКЛ) с веществом микросхемы, которые происходят при энергиях частиц выше нескольких десятков МэВ.

Эффективность процесса возникновения одиночных сбоев в значительной степени определяется величиной линейной передачи энергии (ЛПЭ) в веществе микросхемы. Для современных микросхем пороговое значение ЛПЭ составляет около $10 \text{ МэВ} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{мг}^{-1}$. Для тяжелых ядер ГКЛ типа железа с энергией 100 МэВ на нуклон и выше значение ЛПЭ $\sim 30 \text{ МэВ} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{мг}^{-1}$.

Соотношение эффективности механизмов возникновения одиночных сбоев зависит от радиационных условий на конкретных орбитах. Для высоких орбит, например для геостационарной орбиты (ГСО), такие сбои вы-

зываются преимущественно тяжелыми ядрами ГКЛ, а во время интенсивных солнечных вспышек – и протонами СКЛ. На низких орбитах возникновение одиночных сбоев обусловлено преимущественно воздействием протонов РПЗ.

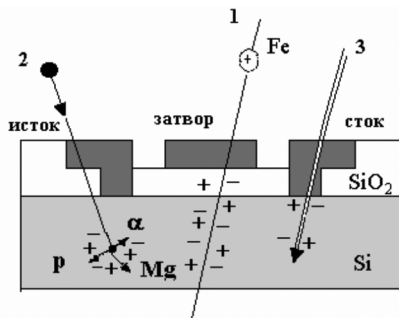


Рис. 5. Образование электронно-дырочных пар в материале микросхемы ядром Fe (1), протоном РПЗ, вызывающим ядерную реакцию (2), и лазерным излучением (3)

В связи с чрезвычайной важностью проблемы возникновения одиночных сбоев в НИИЯФ были созданы лабораторные имитационные установки для изучения этого явления. В одной из установок использовался изотоп ^{252}Cf , в энергетическом спектре осколков деления которого имеются два пика при энергиях около 80 и 110 МэВ. Для таких осколков среднее значение ЛПЭ составляет около $40 \text{ МэВ} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{мг}^{-1}$. Вторая установка была построена на основе мощного импульсного лазера,

при поглощении энергии излучения которого в веществе микросхемы также образуются электронно-дырочные пары. Рис. 5 иллюстрирует возникновение наведенного заряда в веществе микросхемы за счет различных физических механизмов.

Радиационная электризация материалов космических аппаратов

Одной из важнейших научно-технических программ государственного уровня, созданных по инициативе С.Н. Вернова, являлась программа исследований по проблеме электризации КА в горячей магнитосферной плазме. Как фактор, оказывающий серьезное неблагоприятное влияние на работу бортовых систем КА, явление электризации (заряжения) аппаратов стало систематически изучаться в начале 1970-х гг. при запусках КА на ГСО, которая лежит в экваториальной плоскости на высоте $\sim 36\,000$ км. До запуска КА на ГСО параметры магнитосферной плазмы в области этой орбиты – температура и концентрация частиц, от которых непосредственно зависит величина потенциала, возникающего на КА при электризации, – практически не были известны. Поэтому многочисленные аномалии, наблюдавшиеся в работе бортовых систем первых геостационарных КА: произвольное изменение ориентации, отключение питания, ложные срабатывания в коммутирующих системах и т. п., первоначально не связывали с эффектами электризации. Позднее с помощью приборов, устанавливавшихся на геостационарных КА, было выяснено, что параметры горячей магнитосферной плазмы на ГСО таковы, что значения потенциалов на КА

достигают $-(10-20)$ кВ. При таких потенциалах на КА возникают электростатические разряды (ЭСР), создающие интенсивные электромагнитные помехи, которые приводят к возникновению сбоев в работе бортовой аппаратуры КА, а в некоторых случаях – к разрушению компонентов аппаратуры и элементов конструкции.

С этими грозными явлениями в полной мере пришлось столкнуться специалистам НПО прикладной механики (ныне ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева»), где создавались первые отечественные геостационарные КА, предназначенные для работы в глобальных спутниковых системах радиосвязи и телевидения. Разработка упомянутой выше программы исследований по проблеме электризации КА, проводившаяся при непосредственном взаимодействии С.Н. Вернова с М.Ф. Решетневым, руководившим в те годы НПО ПМ, была в значительной степени инициирована практическими потребностями, возникавшими при конструировании геостационарных КА.

В рамках этой программы, реализация которой началась в 1983 г., уже после кончины С.Н. Вернова, НИИЯФ МГУ был назначен головной организацией по разработке физико-математической модели электризации КА. В качестве соисполнителей по этому направлению в работах участвовало более 10 организаций, поэтому группе специалистов НИИЯФ, руководимой Л.С. Новиковым, пришлось в кратчайшие сроки не только досконально изучить эту новую проблему, но и разработать детальный план координации работ всех участников проекта. Результатом этих усилий явилось создание физической модели и программного обеспечения для расчета распределения потенциалов и напряженности электрического поля на поверхности и в окрестности реальных КА сложной конфигурации с неоднородной структурой поверхности, значительная часть которой покрыта диэлектрическими материалами с различными электрофизическими свойствами [8–10]. На основании результатов расчетов определяются возможные места возникновения ЭСР и вырабатываются рекомендации по оптимизации конструкции КА для предотвращения их возникновения. В дальнейшем созданная модель неоднократно модифицировалась, и с ее помощью было проведено моделирование электризации десятков КА в интересах предприятий отечественной космической отрасли.

При электризации КА в горячей магнитосферной плазме на ГСО электрическое поле заряженного КА проникает в плазму на значительное расстояние. Для этого случая возможно построение трехмерных картин распределения потенциала в окрестности КА. На рис. 6 показана конфигурация эквипотенциалов электрического поля вблизи КА при зарядении геостационарного КА в тени Земли и на освещенном участке орбиты. Видно, что при частичном освещении поверхности КА электрическое поле становится асимметричным.

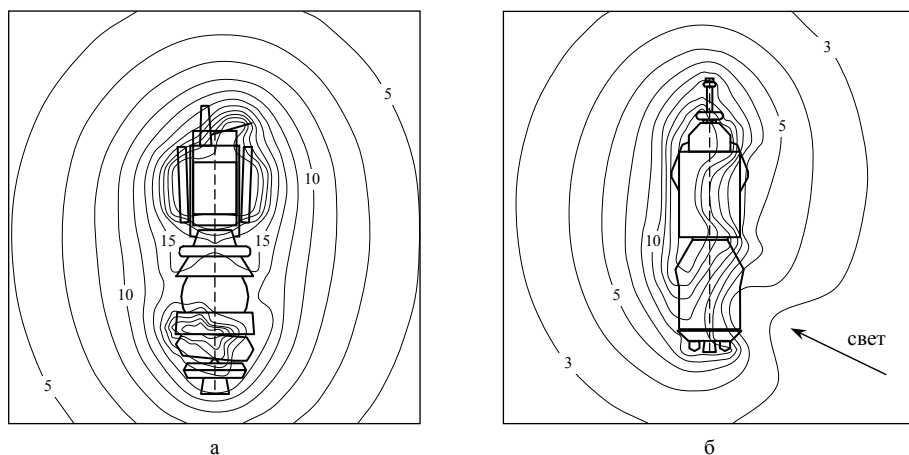


Рис. 6. Распределение потенциала ϕ [кВ], электрического поля в окрестности КА:
а – в тени Земли; б – при освещении поверхности КА Солнцем

На рис. 7 показаны распределения потенциала на поверхности низкоорбитального КА с полярной орбитой, рассчитанные с помощью созданного в НИИЯФ варианта модели электризации для таких орбит. В этом случае КА подвергается одновременному воздействию ионосферной плазмы, потока авроральных электронов и солнечного излучения, причем все эти факторы анизотропны по отношению к движущемуся КА. В отличие от случая заряжения в горячей плазме в холодной ионосферной плазме электрическое поле резко падает с удалением от поверхности заряженного объекта вследствие дебаевского экранирования. Поэтому в данном случае результаты расчетов представляются с помощью цветового кода. Каждому значению потенциала на поверхности объекта ставится в соответствие определенный оттенок цвета. Элементы конструкции, на которые непосредственно воздействует поток авроральных электронов (например, в верхней части крайнего рисунка справа), заряжаются до достаточно высоких потенциалов, что показано более светлыми оттенками.

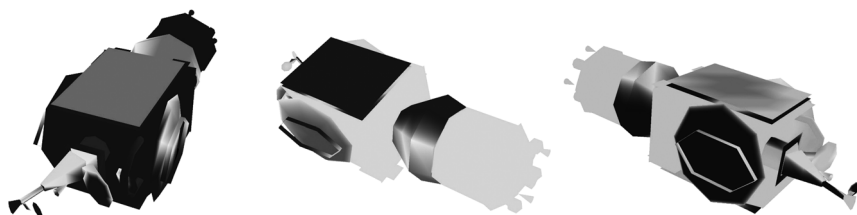


Рис. 7. Распределения потенциала на поверхности КА при одновременном воздействии ионосферной плазмы, потока авроральных электронов и солнечного света

Помимо рассмотренной выше поверхностной электризации КА в магнитосферной плазме, наблюдается явление объемной электризации диэлектрических материалов КА, вызываемое электронами РПЗ с характерными энергиями $\sim 1\text{--}10$ МэВ. Электроны с такими энергиями проникают в диэлектрик на глубину около 1 см, создавая внедренный электрический заряд.

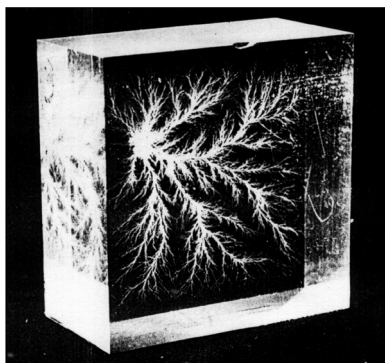


Рис. 8. Фигура Лихтенберга в образце ПММА

При достижении некоторой пороговой величины заряда, определяющей критическую напряженность электрического поля в объеме диэлектрика, происходит электрический пробой с образованием разветвленных разрядных каналов – фигур Лихтенберга.

Изучение явления объемной электризации диэлектриков было начато в НИИЯФ МГУ под руководством А.И. Акишина при облучении образцов оптических стекол и полиметилметакрилата (ПММА) моноэнергетическими пучками электронов с энергиями $\sim 1\text{--}10$ МэВ [11, 12]. Было установлено, что для возникновения самопроизвольных пробоев в образцах необходимо накопление флюенсов электронов $\sim 10^{12}\text{--}10^{14}$ см^{-2} .

На рис. 8 показана фигура Лихтенберга, образовавшаяся в стеклянном блоке в результате его облучения электронами с энергией 4 МэВ.

Из приведенного выше рис. 8 видно, что при облучении электронами пластины ПММА наблюдается краевой эффект, проявляющийся в отсутствии следов фигур Лихтенберга в зоне шириной около 0,5 см от края пластины.

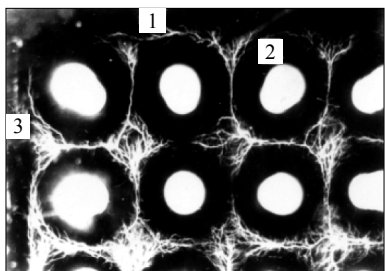


Рис. 9. Фрагмент пластины из ПММА с цилиндрическими каналами после облучения

На рис. 9 представлена фотография образца из ПММА 1, на фронтальной плоскости которого высверлены цилиндрические каналы 2 глубиной 1 см и диаметром 0,5 см при равномерном шаге их расположения 1,5 см. Образец был облучен нормально к плоскости фотографии электронами с энергией 7 МэВ и флюенсом $\sim 10^{13}$ см^{-2} . Хорошо видно, что электроразрядные каналы 3 отсутствуют как около края пластины

ПММА, так и в кольцевой зоне шириной $\sim 0,5$ см от края пор. Этот эффект при соответствующем подборе диаметра и шага расположения каналов был

использован для создания изолятора, предназначенного для работы в условиях радиационных воздействий и устойчивого к разрушительному воздействию электроразрядных процессов [13].

Позднее под руководством А.И. Акишина и И.Б. Теплова изучались электроразрядные явления при облучении неорганических стекол протонами с энергией 100 МэВ на протонном инжекторе ЛИ-100 ИФВЭ (г. Протвино) [14]. Изображение фигуры Лихтенберга, полученной в этих экспериментах, показано на рис. 10.

Несмотря на убедительные данные лабораторных экспериментов, свидетельствующие о высокой опасности объемного заряжения для диэлектрических материалов, возникновение электроразрядных явлений в условиях космического пространства за счет этого механизма длительное время казалось нереальным вследствие малой плотности потоков электронов РПЗ и релаксации заряда на длительных временных промежутках за счет проводимости диэлектриков.

Однако результаты ряда космических экспериментов, в особенности экспериментов, проведенных на КА CRRES [15] (рис. 11), убедительно показали, что в космосе при воздействии на КА изотропных потоков электронов РПЗ с распределенными энергетическими спектрами пороговое значение флюенса электронов, соответствующее началу возникновения объемных электрических разрядов, снижается до $\sim 10^{10} - 10^{11} \text{ см}^{-2}$, т. е. на 2–3

порядка по сравнению с данными лабораторных экспериментов. Была также обнаружена отчетливо выраженная корреляция частоты возникновения разрядов с изменениями плотности потока электронов РПЗ, воздействующих на КА. Результаты этих экспериментов послужили толчком к интенсивному изучению явления объемной электризации применительно к условиям космического пространства. Ретроспективный анализ имеющихся данных по возник-



Рис. 10. Фигура Лихтенберга в стекле, облученном протонами с энергией 100 МэВ

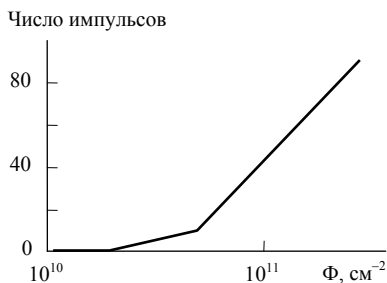


Рис. 11. Зависимость максимального числа разрядов за один виток от флюенса электронов

новению ЭСР на ряде геостационарных КА показал, что значительная часть ЭСР могла быть обусловлена именно объемным заряджением.

Математическое моделирование воздействия космической среды на аппараты

Работы по созданию модели электризации КА положили начало интенсивному развитию в ОЯКИ методов математического моделирования процессов взаимодействия КА с окружающей космической средой. Применение таких методов позволяет, в отличие от условий лабораторных экспериментов, достаточно точно задавать и варьировать характеристики окружающей КА космической среды (энергетические спектры потоков заряженных частиц, их угловые распределения и т. п.) и характеристики самого КА (особенности конфигурации, свойства материалов, наличие и параметры бортового оборудования и т. д.). Помимо электризации КА, вычислительные методы стали широко применяться в ОЯКИ для моделирования собственной внешней атмосферы КА – газовой оболочки, образующейся в окрестности аппарата за счет десорбции газа с поверхности, утечки газа из внутренних отсеков КА и работы двигателей коррекции орбиты и ориентации аппарата, для исследования пространственного распределения поглощенной дозы космической радиации в материалах и элементах оборудования КА, а также изучения работы электроракетных двигателей и плазменных инжекторов на борту КА и решения других задач.

Для проведения инженерных расчетов пространственного распределения поглощенной дозы и внедренного электрического заряда в элементах

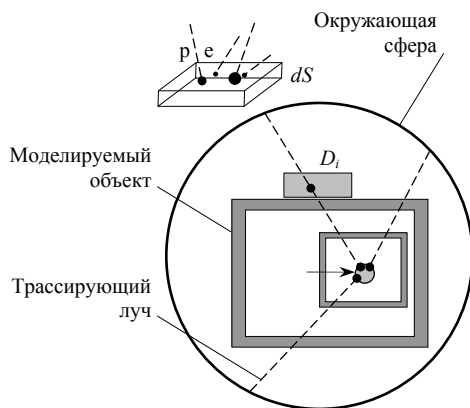


Рис. 12. Схема расчета поглощенной дозы.
Стрелка указывает на точку расчета

конструкции реальных КА в НИИЯФ создана компьютерная модель RDOSE [16, 17].

Принципы расчета с помощью этой модели иллюстрируются рис. 12. Геометрическая модель КА (схематически изображена в центре) состоит из совокупности блоков, некоторые из которых вложены в другие. Сложная трехмерная модель КА строится из набора базисных геометрических элементов, объединенных в иерархическую древовидную структуру. В качестве базисных элементов ис-

пользуются простые геометрические поверхности и их фрагменты: плоскость, диафрагма, цилиндр, эллипсоид, конус, тор. Для каждой поверхности КА задаются вид материала и его физические характеристики.

Вокруг модели КА строится сфера с равномерной сеткой точек, из которых на КА попадают потоки частиц. Из каждой такой точки в центре элементарной площадки dS в направлении точки расчета испускается луч, по пути которого вычисляется эквивалентная толщина защиты D_i с учетом угла встречи луча со всеми пересекаемыми деталями конструкции и свойств используемых материалов. На элементарных площадках окружающей сферы задаются энергетические спектры падающих заряженных частиц.

Вычисление суммарной дозы в рассматриваемой точке производится путем интегрирования по поверхности окружающей сферы. Алгоритм вычисления поглощенной дозы позволяет учитывать пространственно-временные вариации потоков частиц на каждую площадку dS .

На рис. 13 представлена созданная для проведения расчетов геометрическая модель одного из модулей Международной космической станции (МКС), отражающая особенности его конфигурации, расположение элементов конструкции и блоков оборудования. На рис. 14 приведен результат расчета поглощенной дозы для некоторого сечения внутри модели. В нижней части рисунка показаны изолинии дозы в рассматриваемом сечении.

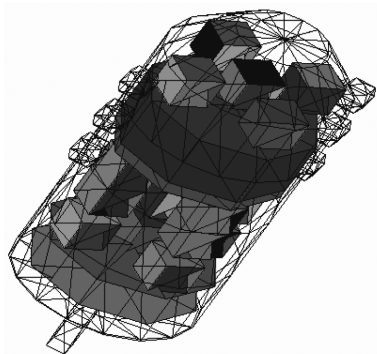
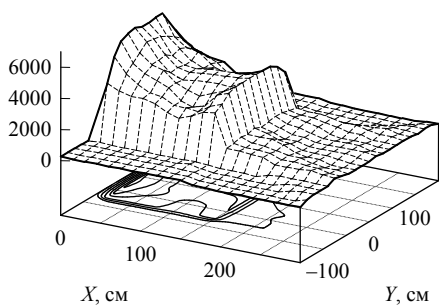


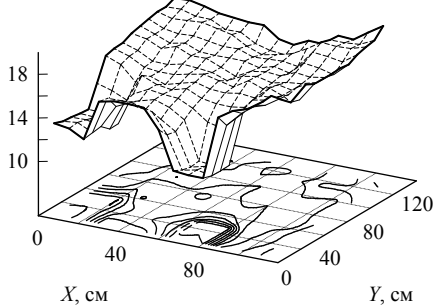
Рис. 13. Геометрическая модель модуля МКС

Доза, мрад·сут⁻¹



а

Доза, мрад·сут⁻¹



б

Рис. 14. Распределение суточной поглощенной дозы космической радиации в выбранных сечениях внутри КА:

а – для КА, функционирующего в РПЗ; б – для модуля МКС

Описанная модель позволяет также провести расчет флюенса электронов для любого диэлектрического элемента внутри модуля с учетом экранирования его стенками модуля и другими элементами конструкции.

Помимо программы RDOSE, в ОЯКИ для моделирования процессов воздействия ФКП на реальные КА используется программный комплекс GEANT [17], построенный на основе метода Монте-Карло. Комплекс GEANT обладает более широкими вычислительными возможностями по сравнению с программой RDOSE, однако его применение сопряжено с необходимостью использования более мощных компьютеров и больших затрат машинного времени.

Эрозия поверхности материалов под действием атомарного кислорода верхней атмосферы Земли

В последние 10–15 лет очень большое внимание уделяется изучению воздействия атомарного кислорода верхней атмосферы Земли на материалы внешней поверхности КА. Актуальность этой проблемы в значительной степени была обусловлена исследованиями, проводившимися на орбитальной станции «Мир», и работами по созданию, запуску и эксплуатации МКС, поскольку на высотах ~300–500 км, где функционируют орбитальные станции, атомарный кислород является основным компонентом верхней атмосферы. Воздействие набегающего потока атомарного кислорода вызывает интенсивное распыление материалов, в первую очередь полимерных, за счет образования летучих окислов.

В связи с необходимостью детального изучения этого явления и поступающими от предприятий космической отрасли многочисленными заказами на проведение испытаний материалов на стойкость к воздействию атомарного кислорода сотрудниками ОЯКИ был разработан магнитоплазодинамический ускоритель кислородной плазмы, создающий поток нейтральных атомов кислорода $\sim 10^{15} - 10^{16} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ при энергии атомов 5–20 эВ [18, 19]. Ускоритель позволяет также получать поток ионов O, Xe, Ar и других газов

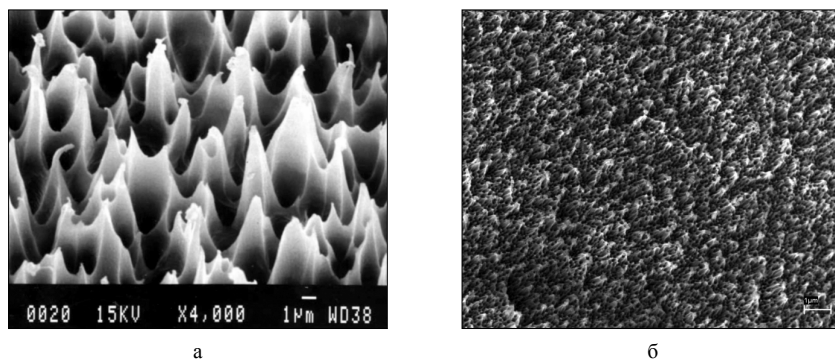


Рис. 15. Структура поверхности полимеров после воздействия атомарного кислорода в натуральных (а) и лабораторных (б) условиях

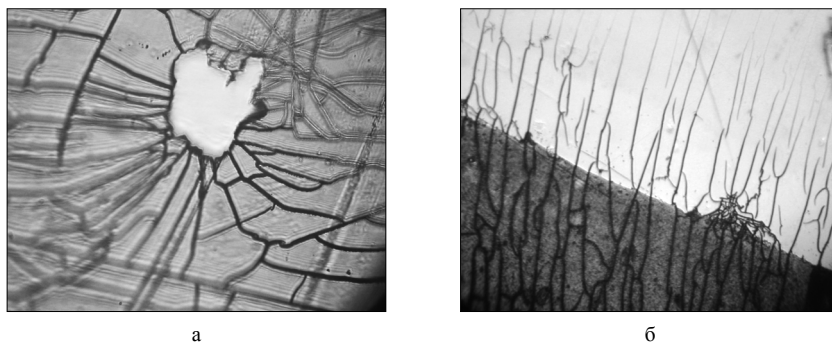


Рис. 16. Возникновение дефектов покрытия SiO_2 под действием атомарного кислорода: а – точечный дефект покрытия (размер поля 350 мкм); б – трещины на границе облученной зоны (размер поля 750 мкм)

с энергией до 100–200 эВ, что необходимо, в частности, для исследования воздействия плазменных струй электроракетных двигателей на материалы КА. На ускорителе были испытаны многочисленные материалы, применяемые на внешней поверхности КА (полимерные пленки различного состава, стекла, ткани, эмали и т. д.), а также специальные защитные покрытия, позволяющие уменьшить распыление материалов кислородным потоком. На основании полученных результатов выработаны рекомендации, внедренные на предприятиях космической отрасли.

Рис. 15 иллюстрирует наблюдавшееся в лабораторном эксперименте на ускорителе НИИЯФ образование на поверхности полимерной пленки под действием атомарного кислорода характерной структуры, напоминающей ковровый ворс, а на рис. 16 показаны результаты испытания на плазменном ускорителе защитного покрытия SiO_2 , нанесенного на поверхность полимерной пленки. Видно, что в результате облучения атомарным кислородом в защитном покрытии образуются сквозные отверстия и возникают трещины.

Воздействие на материалы высокоскоростных микрочастиц

В связи с актуальностью широко обсуждаемой в последние годы проблемы засорения околоземного космического пространства так называемым «космическим мусором», в состав которого входят не выполняющие полезных функций космические объекты искусственного происхождения – от прекративших функционирование КА до мелких частиц, образующихся при разрушении КА и других элементов космической техники, – особую значимость приобретают лабораторные эксперименты по моделированию ударных воздействий твердых частиц на материалы КА.

В НИИЯФ был впервые реализован электростатический метод ускорения твердых микрочастиц с целью имитации воздействия космической пыли на материалы и элементы оборудования, располагающиеся на внешней поверхности КА. Для ускорения твердых микрочастиц используются электростатический генератор Ван-де-Граафа ЭГ-8 и каскадный генератор КГ-500 [20, 21].

Ускоряются преимущественно металлические частицы: Al, Cr, Fe, Ni, Cu, Mo, W, Ti и др., но возможно ускорение и диэлектрических частиц при нанесении на них тонких проводящих покрытий. Поперечные размеры ускоряемых частиц лежат в интервале 0,5–10 мкм. Для таких частиц на ускорителе ЭГ-8 достигаются скорости $\sim 20\text{--}30 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$. Интенсивность потока частиц может регулироваться в пределах от 0,1 до 100 частиц $\cdot\text{с}^{-1}$.

Принцип электростатического ускорения твердых микрочастиц не отличается от общеизвестного принципа ускорения ионов. Для осуществления такого ускорения твердой частице необходимо каким-либо способом сообщить электрический заряд. В НИИЯФ разработан специальный инжектор [22], в котором зарядение микрочастиц происходит при контакте с вольфрамовой иглой, находящейся под потенциалом $+(10\text{--}15) \text{ кВ}$. После контакта с иглой заряженная частица вводится в ускорительную трубку и далее попадает в экспериментальную камеру, где располагаются бомбардируемые мишени и датчики аппаратуры, регистрирующей эффекты взаимодействия частицы с мишенью.

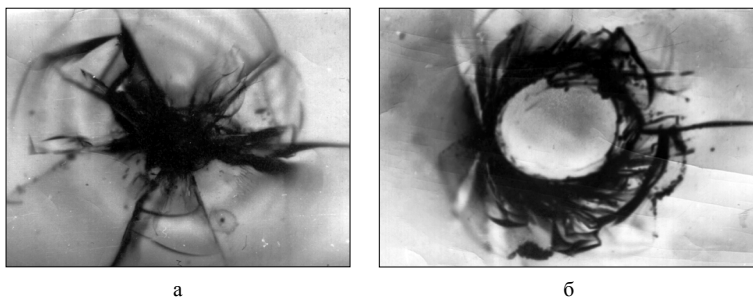


Рис. 17. Кратеры в кварцевом стекле, образованные ударами металлических микрочастиц со скоростью $\sim 8 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$

На рис. 17 представлены изображения кратеров, полученных в лабораторных экспериментах при бомбардировке кварцевых стекол металлическими микрочастицами. В обоих случаях отчетливо видна центральная часть кратера, окруженная радиальными и кольцевыми трещинами.

На рис. 18 показана полученная с помощью электронного микроскопа фотография нескольких кратеров, образованных ударами частиц титана разных размеров о германиевую пластину. Хорошо видно, что при ударах мел-

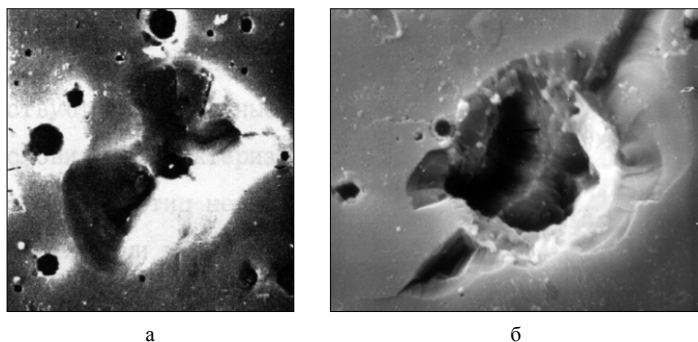


Рис. 18. Кратеры, образованные в пластине Ge ударами Ti-частиц с поперечными размерами 0,5–1,5 мкм и скоростями 4–6 км·с⁻¹

ких частиц образование сколов и кольцевых трещин не происходит, в то же время можно отметить, что процесс образования сколов носит вероятностный характер.

Электростатическим методом можно ускорять и жидкие частицы. Мелким жидким капелькам может быть сообщен большой удельный (на единицу массы) электрический заряд, что принципиально позволяет достигать высоких скоростей частиц. В НИИЯФ был создан и исследован экспериментальный макет такого ускорителя [23].

Аналогия между случаями ускорения твердых и жидких частиц иллюстрируется рис. 19. Капельки жидкости формируются на конце иглы с капиллярным каналом. При некоторых режимах заряжения может происходить электростатический взрыв достаточно крупных капель во время их движения в ускоряющей системе. Такой случай условно отображен на рис. 19.

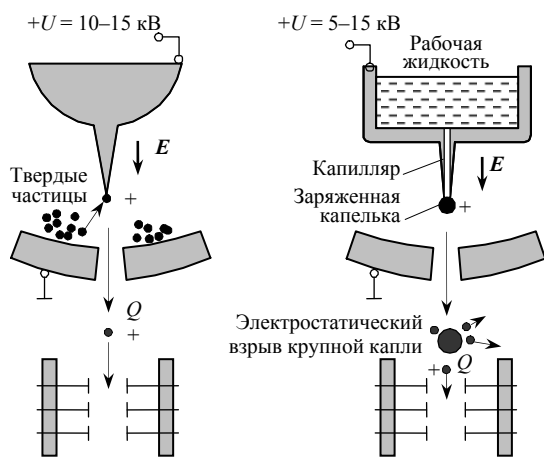


Рис. 19. Аналогия между случаями ускорения твердых и жидких частиц

Как показали выполненные исследования, основным недостатком электростатического ускорителя при работе с жидкими частицами является значительная потеря исходного заряда частиц в процессе их ускорения, что ограничивает значения скоростей частиц.

Применение наноматериалов в космической технике

Космическая отрасль традиционно интегрирует лучшие научно-технические достижения многих областей, поэтому происходящее в настоящее время широкомасштабное внедрение нанотехнологий и наноматериалов практически во все сферы человеческой деятельности, безусловно, будет в значительной степени способствовать совершенствованию космической техники. Уже созданы и реализуются конкретные долгосрочные программы развития космической техники с использованием нанотехнологий и наноматериалов [24, 25]. Эти программы в значительной степени ориентированы на разработку новых поколений негерметизированных КА и малых спутников, включая наноспутники массой 1–10 кг и пикоспутники, масса которых не превышает 1 кг. Без применения нанотехнологий и наноматериалов немыслима и реализация крупнейших космических проектов XXI столетия: осуществления пилотируемого полета на Марс, строительства обитаемых баз на Луне и полета группы автоматических КА к Юпитеру с посадкой на некоторые его спутники.

Однако внедрение наноматериалов и изготовленных из них элементов оборудования в изделия ракетно-космической техники сопряжено с необходимостью всестороннего изучения их поведения в экстремальных условиях космоса, пересмотра многих физических представлений о процессах воздействия ФКП на материалы и создания новых методов исследования этих процессов. В НИИЯФ МГУ уже ведутся работы в этом направлении: проведены первые исследования воздействия атомарного кислорода на наноструктурированные композиционные материалы, исследуются особенности электростатического ускорения металлических наночастиц для решения технологических задач, разрабатываются методы математического моделирования наноструктур и процессов воздействия ФКП на такие структуры [25]. В ближайшие годы этот раздел космического материаловедения получит значительное развитие.

Подготовка специалистов и распространение передового опыта

С.Н. Вернов всегда уделял огромное внимание подготовке молодых специалистов для работы в области космического материаловедения. Их подготовка была организована по инициативе С.Н. Вернова в Московском институте электронного машиностроения (ныне Московский государственный институт электроники и математики) и на физическом факультете МГУ. Для обеспечения учебного процесса сотрудниками института подготовлен ряд учебных пособий [7, 12, 19, 21, 25] и в соавторстве с сотрудниками физического факультета и ряда внешних организаций выпущен учебник. За цикл

работ по обеспечению учебного процесса сотрудники НИИЯФ А.И. Акишин, Б.С. Ишханов и Л.С. Новиков были удостоены в 2008 г. Премии Правительства Российской Федерации в области образования.

Результаты выполненных в НИИЯФ МГУ исследований в области космического материаловедения были использованы при подготовке нескольких изданий «Модели космоса», регулярно осуществлявшихся до 1983 г. по инициативе С.Н. Вернова и под его общей редакцией. После более чем двадцатилетнего перерыва в 2007 г. в связи с 50-летней годовщиной запуска 1-го искусственного спутника Земли было выпущено новое издание «Модели космоса» под редакцией М.И. Панасюка и Л.С. Новикова. Большую роль в распространении передового опыта и внедрении новых разработок играет Межведомственный семинар по проблеме воздействия космической среды на материалы, работа которого под руководством С.Н. Вернова и А.И. Акишина была начата в 1965 г. и продолжается в настоящее время под руководством Л.С. Новикова. За эти годы проведено более 100 заседаний семинара.

Литература

1. Акишин А.И. Развитие космического материаловедения в НИИЯФ МГУ. 50 лет Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В.Скобелева. Доклады на заседаниях Ученого Совета НИИЯФ и ОЯФ физического факультета МГУ в 1995–1997 гг. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997, с. 187–234.
2. Акишин А.И., Булгаков Ю.В., Васильев С.С., Вернов С.Н., Николаев В.С. Теплов И.Б. Моделирование радиационного воздействия космической среды на элементы космических аппаратов. Proc. XVII Congr. YAF, Noth. Holl. Publ. Co, 1968, pp. 279–291.
3. Акишин А.И., Новиков Л.С., Соловьев Г.Г. Воздействие потоков заряженных частиц высокой энергии на материалы и элементы оборудования космических аппаратов. В кн.: Новые наукоемкие технологии в технике. Энциклопедия. Т. 16. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. М.: ЗАО НИИ «ЭНЦИТЕХ», 2000, гл. 5, с. 164–204.
4. Акишин А.И., Бессонова Т.С., Васина Л.А. и др. Влияние корпускулярных излучений на оптические материалы. В кн.: Модель космоса. Под ред. Вернова С.Н. М.: Изд во МГУ, 1983, с. 553–578.
5. Акишин А.И., Бессонова Т.С., Васильев С.С. Электронная и протонная радиолуминесценция оптических стекол. ЖПС, 1971, т. XV, № 3, с. 471–475.
6. Акишин А.И., Астафьев В.А., Булгаков Ю.В., Боголюбова Н.Н., Коган В.И., Новиков Л.С., Токарев Г.А. Радиационные эффекты в полупроводниковых и интегральных схемах при имитации воздействия тяжелых ядер космических лучей. В кн.: Модель космического пространства. Под ред. Академика С.Н. Вернова. Т. 2. Моделирование воздействия космической среды на материалы космических аппаратов. НИИЯФ МГУ, 1983, с. 486–499.
7. Акишин А.И. Космическое материаловедение. Методическое и учебное пособие. – М.: НИИЯФ МГУ, 2007, 209 с.
8. Милеев В.Н., Новиков Л.С. Физико-математическая модель электризации ИСЗ на геостационарной и высокоэллиптических орбитах. Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца, вып. 86. М.: Наука, 1989, с. 64–98.

9. Krupnikov K.K., Mileev V.N., Novikov L.S., Babkin G.V. Mathematical modeling of high altitude spacecraft charging, proceedings of international conference on problems of space/environment interactions. Novosibirsk, 1992, pp. 167–175.
10. Krupnikov K.K., Mileev V.N., Novikov L.S. A mathematical model of spacecraft charging ('COULOMB' Tool). *Rad. Measur.*, 1996, v. 26, No 3, pp. 513–516.
11. Акишин А.И. Радиационные аномалии в космическом оборудовании, вызванные электро-разрядными явлениями в облученных диэлектриках. В кн.: Новые наукоемкие технологии в технике. Энциклопедия. Т. 17. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. Под ред. Новикова Л.С., Панасюка М.И. М., 2000, с. 560.
12. Акишин А.И. Методы радиационных испытаний космических материалов. Учебное пособие. М.: Изд во МГУ, 2005, 143 с.
13. Акишин А.И., Кирюхин В.П., Новиков Л.С., Тютрин Ю.И. А. с. № 1335126 от 01.05.1987. Диэлектрический высоковольтный изолятор.
14. Акишин А.И., Витошкин Э.А., Тютрин Ю.И., Цепляев Л.И. Электроразрядное разрушение диэлектриков протонным излучением. *ФХОМ*, 1994, № 3, с. 32–34.
15. Акишин А.И., Новиков Л.С., Маклецов А.А., Милеев В.Н. Объемная электризация диэлектрических материалов космических аппаратов. В кн.: Модель космоса. Т. 2. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. Под ред. Л.С. Новикова. – М.: КДУ, 2007, с. 318–342.
16. Маклецов А.А., Милеев В.Н., Новиков Л.С., Синолиц В.В. Космическая экология: моделирование радиационной обстановки на борту космических аппаратов. *Инженерная экология*, 1997, № 1, с. 39–51.
17. Новиков Л.С., Милеев В.Н., Маклецов А.А., Крупников К.К., Синолиц В.В. Методы математического моделирования взаимодействия космических аппаратов с окружающей средой. В кн.: Новые наукоемкие технологии в технике. Энциклопедия. Т. 17. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. Под ред. Новикова Л.С., Панасюка М.И. М.: НИИ «ЭНЦИТЕХ», 2000, с. 155–199.
18. Акишин А.И., Новиков Л.С., Черник В.Н. Воздействие на материалы и элементы оборудования космических аппаратов вакуума, частиц ионосферной плазмы и солнечного ультрафиолетового излучения. В кн.: Новые наукоемкие технологии в технике. Энциклопедия. Т. 17. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. Под ред. Новикова Л.С., Панасюка М.И. М.: НИИ «ЭНЦИТЕХ», 2000, с. 100–138.
19. Новиков Л.С., Черник В.Н. Применение плазменных ускорителей в космическом материаловедении. Учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2008, 90 с.
20. Акишин А.И., Новиков Л.С. Методика и оборудование имитационных испытаний материалов космических аппаратов. М.: Изд-во МГУ, 1989, 89 с.
21. Новиков Л.С. Высокоскоростные соударения в космосе. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2003, 72 с.
22. Акишин А.И., Кирюхин В.П., Новиков Л.С. Устройство для имитации потоков космической пыли. В кн.: Новые приборы, методики, материалы и технологические процессы, разработанные учеными МГУ. М.: Изд-во МГУ, 1981, с. 31.
23. Novikov L.S., Soloviev G.G., Bednyakov S.A., Dzagurov O.B., Shtyrin A.F., Nadiradze A.B. Electrostatic liquid microparticle accelerator for simulation of high velocity shock impacts in space. In: Proc of the 9th Int. Symp. on Materials in a Space Environment, Noordwijk, The Netherlands, 16–20 June 2003 (ESA SP 540), pp. 543–545.
24. Новиков Л.С., Воронина Е.Н. Воздействие космических излучений на наноструктурные материалы. Труды XVIII Международного совещания «Радиационная физика твердого тела». – М.: МИЭМ, 2008, с. 710–727.
25. Новиков Л.С., Воронина Е.Н. Перспективы применения наноматериалов в космической технике. Учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2008, 188 с.

ЧАСТЬ II

ВОСПОМИНАНИЯ

О СЕРГЕЕ НИКОЛАЕВИЧЕ ВЕРНОВЕ

ВСПОМИНАЯ СЕРГЕЯ НИКОЛАЕВИЧА ВЕРНОВА

С.С. Герштейн, А.А. Логунов

Сергей Николаевич Вернов был одним из крупнейших физиков XX века. Еще в начале 1930-х годов он провел классические эксперименты на шарах-зондах и получил важнейшие сведения о составе первичной компоненты космических лучей. Продолжая исследования космических лучей, Сергей Николаевич вместе со своими сотрудниками открыл так называемый западно-восточный эффект, а с началом космической эры возглавил исследования, проводимые на спутниках и ракетах. Под его руководством НИИЯФ МГУ внес важнейший вклад в исследования радиационных поясов Земли и космических лучей.

Используя достижения отечественной ракетной техники, С.Н. Вернов и Н.Л. Григоров смогли вывести в космос многотонный ионизационный калориметр и впервые измерить спектр космических лучей в широкой области энергий (10^{11} – 10^{15} эВ), не изученный ранее. В этих исследованиях под руководством Сергея Николаевича были созданы новые методики экспериментов, некоторые из которых стали необходимыми инструментами работы на ускорителях и коллайдерах высоких энергий.

Вспоминая Сергея Николаевича, мы хотели бы отметить его большой вклад в создание и реализацию программы экспериментальных исследований на Серпуховском ускорителе ИФВЭ. При образовании Института физики высоких энергий было решено исправить недостатки, которые выявились в работах на предшествующих уникальных установках. Одним из таких недостатков было то, что создатели их весьма ревниво относились к участию в работе на них представителей других центров. Такое положение складывалось, например, даже в отношениях между экспериментаторами Лаборатории высоких энергий и Лабораторией ядерных проблем, входивших в один

и тот же Объединенный институт ядерных исследований. По мысли руководства ИФВЭ, создание самого крупного на то время в мире ускорителя протонов должно было стимулировать подъем уровня исследований во всей стране и установление широкого международного сотрудничества. Предполагалось, что в исследованиях на сооружаемом ускорителе смогут принять участие научные центры из различных республик СССР и вузов страны и, таким образом, на основе крупнейшего ускорителя ИФВЭ станет первым подлинным Национальным центром в нашей стране (хотя такого термина в то время еще не существовало). Для осуществления этой программы в ИФВЭ был создан Координационный научный совет из выдающихся ученых, представляющих разные научные центры страны. Сергей Николаевич вошел в состав этого совета наряду с М.А. Марковым, Б.М. Понтекорво, В.В. Владимирским, В.П. Желеповым и другими. В том, что программу такого национального центра удалось успешно реализовать, большая заслуга Сергея Николаевича. Его преданность науке, большой организационный опыт и человеческая порядочность играли важнейшую роль в принятии согласованных решений Координационного совета. Вместе с тем, Сергей Николаевич много сделал для того, чтобы руководимый им НИИЯФ МГУ смог полноценно участвовать в экспериментальных исследованиях на Серпуховском ускорителе. При поддержке, оказанной со стороны ИФВЭ, Сергею Николаевичу удалось соорудить новое здание для физики высоких энергий и оснастить его новейшей просмотровой и вычислительной техникой для обработки экспериментальных данных, полученных на Серпуховском ускорителе. Сергей Николаевич уделил большое внимание развитию исследований по физике высоких энергий в НИИЯФ. Сделав фундаментальные открытия в области физики космических лучей, он понял, что космические лучи не смогут конкурировать с создаваемыми ускорителями высокой энергии в области изучения элементарных частиц, оставаясь вместе с тем важнейшим средством изучения природы и механизмов астрофизических процессов. Поэтому он развивал в НИИЯФ оба направления исследований.

Тесное сотрудничество руководимого Сергеем Николаевичем НИИЯФ МГУ и ИФВЭ, в том числе переход в НИИЯФ одного из ведущих специалистов ИФВЭ, каким являлся Павел Федорович Ермолов, и ряда теоретиков ИФВЭ (В.И. Саврин, Б.А. Арбузов), привело к тому, что в настоящее время НИИЯФ является одним из главных мировых центров в области физики высоких энергий. Сотрудники ИФВЭ участвуют сейчас в экспериментах на многих уникальных установках в крупнейших научных центрах в США, Германии и других странах.

Большая заслуга в этом выдающегося ученого и замечательного человека – Сергея Николаевича Вернова.

ВЫДАЮЩИЙСЯ ДИРИЖЕР НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Г.Б. Христиансен

Сергей Николаевич Вернов был одним из учителей в моей жизни. Я так хорошо помню этого необыкновенно энергичного, подвижного и жизнерадостного человека, что в любой момент и в любой ситуации, закрыв глаза, могу себе представить его живое возбужденное лицо, пронизательный взгляд и изящное напряженное тело, готовое к любой смене событий.

Сергей Николаевич вырос в крупного руководителя уже в довольно молодом возрасте (ему было менее 40 лет), и это в значительной степени определило блистательный успех его научной карьеры. Сергей Николаевич не был ученым-одиночкой, который достигает научных вершин в изоляции сосредоточенного творчества. Наоборот, Сергей Николаевич отдавал всю свою энергию, свои силы, идеи и вдохновение окружающим его людям, возбуждая в них незаурядный интерес к науке и преданность ей. В этом была всепобеждающая сила Сергея Николаевича (успешно боровшаяся даже с нашей отечественной бюрократией), способная сплотить большие коллективы ученых и инженеров для решения крупнейших научных задач. Если проводить музыкальные аналогии, то работа многих выдающихся ученых – это работа выдающихся солистов. Работа Сергея Николаевича – это работа выдающегося дирижера и созданного им выдающегося оркестра. Сергей Николаевич как нельзя нужен был и стране, в которой он родился, и эпохе расцвета фундаментальных научных исследований, в которую он жил.

Я считаю себя учеником Сергея Николаевича, так как я воспринял определенные методы его работы, методы социального поведения и его философию. Я бы сказал, что Сергей Николаевич научил меня возвращаться и работать в нашей действительности, не поступаясь своим достоинством и не принося в жертву порядочность.

Я далек от того, чтобы идеализировать Сергея Николаевича Вернова. Были ситуации, о которых он сам сожалел. Иногда, как ему казалось, в интересах дела ему приходилось ущемлять или игнорировать людей. Иногда, увлекаясь, он переоценивал роль того или иного ученого и его работ. Однако я не встречал человека столь совестливого, столь преданного науке, способного на любые личные жертвы во имя нового научного результата и успешного хода исследований во всей стране независимо от своего участия в той или иной конкретной работе. Он сам оказался трагической жертвой, фактически надорвавшись на работе. Но надо помнить, что Сергей Николаевич был действительно счастлив во время своей работы.

1995 год

О СЕРЕЖЕ ВЕРНОВЕ

Е.Л. Фейнберг

Если бы я захотел определить характер Сергея Николаевича одним или двумя словами, то наиболее подходящими были бы целеустремленность и стремительность. Поставив себе задачу, он вкладывал всю свою неумную энергию в решение этой задачи. Преодолевались самые различные трудности. И чисто научные – понимание теории, разрешение постоянно возникавших противоречий в эксперименте, осуществление принципиально новых экспериментов, причем в годы его молодости это требовалось делать в условиях еще только развивающейся нашей физики и бедности техники эксперимента. И трудности административные, неисчислимы, например, при постановке амбициозно задуманного его первого большого эксперимента, важнейшего для физики космических лучей. Я имею в виду, конечно, измерение широтного эффекта в стратосфере, когда приборы запускались в стратосферу и в Ленинграде, и в Ереване, и в Индийском океане.

К последнему случаю относится эпизод, произведший на меня тогда большое впечатление, когда после завершения экспедиции на корабле Сергей Николаевич рассказывал о нем на семинаре в ФИАН. Этот эпизод таков. Когда корабль вышел из Красного моря в Индийский океан и Сергей Николаевич вместе с (тогда еще просто лаборантом) Натом Леонидовичем Григоровым приготовились к запуску в стратосферу зонда со счетчиком космических лучей и передатчиком радиосигналов, вдруг обнаружилось, что весь прибор вышел из строя. Они несколько дней пытались разобраться, в чем дело, и поняли, что из-за жары и стопроцентной влажности изолирующая паста (воск с канифолью), имевшая высокое омическое сопротивление, испортилась, сопротивление резко упало и вышли из строя батарейки. Это была катастрофа. Корабль шел своим обычным рейсом, нельзя было задерживаться. В распоряжении Вернова и Григорова оставалось несколько дней для спасения положения. Им пришлось спешно разобрать весь прибор, перекипятить пасту, изгнав из нее воду, и собрать прибор снова. И все же они успели – запустили прибор в стратосферу и измерили поток космических лучей вблизи экватора. Цикл Ленинград–Ереван–экватор был завершен.

Впереди было много успешно завершенных экспериментов, и еще больше таких моментов, когда надо было в кратчайший срок ликвидировать внезапно возникшую угрозу катастрофы. И всегда оказывалось, что не хватает времени. Даже интегрирование сложной функции, не желая терять время,

Сергей Николаевич иногда проводил, просто строя графики и разбивая площадь на столбики. Эти целеустремленность и стремительность, для которых можно было бы взять лозунгом известные слова «Время – вперед» проявлялись и в его стремительной походке (по крайней мере, в молодости, когда золотая шевелюра, голубые глаза и нежно-розовые щеки определяли его образ, и я невольно вспоминал о Керубино – не удивляйтесь те, кто узнал его позже). Впрочем, стремительность походки сохранялась еще долго (когда о Керубино уже не вспоминалось).

2004 год

ШТРИХИ К ПОРТРЕТУ СЕРГЕЯ НИКОЛАЕВИЧА ВЕРНОВА

А.Н. Сисакян

Академик Сергей Николаевич Вернов принадлежит к блестящей плеяде советских физиков-ядерщиков ушедшего столетия. Он был одним из первых, кто перенес фундаментальные ядерные исследования на орбиту искусственных спутников Земли и пилотируемых космических кораблей. Его тяга в космос проявилась задолго до того, как он стал признанным авторитетом в области физики космических лучей, первооткрывателем внешнего радиационного пояса вокруг Земли. Сергей Николаевич проходил подготовку и был утвержден членом экипажа легендарного стратостата ОСОАВИАХИМ¹, который при выполнении правительственного задания потерпел аварию 30 января 1934 г. Незадолго до этого трагического дня Сергей Николаевич заболел ангиной, и место летчика-исследователя в полете занял его ровесник физик Илья Усыскин. Мировой рекорд высоты (22 км), установленный П.Ф. Федосеенко, А.Б. Васенко и И.Д. Усыскиным, и их гибель при спуске стратостата были одной из трагических страниц нашей науки и техники XX века...

По воле судьбы мне посчастливилось близко знать Сергея Николаевича Вернова и его семью. Это позволяет мне поделиться некоторыми воспоминаниями, которые будут лишь скромными штрихами к его портрету.

Дни моего детства проходили в коммунальной квартире в Москве на улице Горького в доме 22а, где среди нескольких семей научных работников Академии наук СССР жили и наши семьи – Верновых и Сисакян. Приведу страничку маминых воспоминаний о нашем чудесном пятом этаже².

Общежитие аспирантов. Общежитие докторантов. И, наконец, общежитие докторов наук, многие из которых впоследствии стали академиками: Гагик Степанович Давтян, Иван Владимирович Тананаев, Норайр Мартиросович Сисакян, Сергей Николаевич Вернов. На девять семей столько известных ученых! Марк Иосифович Голдин, Сергей Галустович Саркисян, Василий Патрушев, Николай Турбин, Ни-

¹ ОСОАВИАХИМ (Общество содействия обороне, авиации и химическому строительству) – массовая добровольная организация в СССР в 1927–1948 гг.

² Воспоминания В.П. Сисакян // Академик Н.М. Сисакян. На путях к населенному Космосу. М.: Наука, 2001.

колай Нуждин, Федор Иванович Рукавишников (погиб в Великую Отечественную войну) – все доктора наук, профессора.

Но не только этим был необыкновенен наш милый пятый этаж. 9–10 молодых хозяек – научные сотрудницы (и я уже получила это звание), бабушки, няни, более десятка прелестных малышей и, наконец, «хозяева» – отцы семейств – вот и все народонаселение пятого этажа. Все размещались в одиннадцати комнатах, расположенных по обе стороны длинного коридора, на одной обширной кухне с тремя четырехконфорочными газовыми плитами. На всех два туалета и два умывальника, не всегда с водой днем: напор мал, вода доходила до пятого этажа только ночью. Отсюда частые ночные авралы – запасали воду. Воды надо было очень много: у всех пеленки! Не думайте, что мы часто ссорились, наоборот, помогали друг другу жить. Не дай бог, если кто-нибудь заболел, все начинали суетиться: звонили по единственному телефону, вызывая врача, тащили больному (больной) термометр, лекарства, диетическую еду, фрукты. Бывали случаи, когда кто-то не успевал приготовить обед, тогда другие с готовностью делили с ними свою трапезу. Все это было в порядке вещей на нашем миллом пятом этаже...

Война разбросала всех – кого куда. Вернувшиеся вместе переживали радость Победы, скорбь за погибших... Первый орден, первый на пятом этаже, получил Норик. И неожиданно для нас, наш этаж устраивает торжество – застолье, Норику преподносят подарки, адрес в стихах и пр. Очень трогательно. Подарки дарили и вновь появившемуся малютке – новому жителю нашего этажа. Каждый Новый год встречали семьями в своих комнатах, а уже после двенадцати было трудно разобрать, кто где: всеобщее веселье, да какое! Не утихало всю новогоднюю ночь!

Доктора постепенно начинали получать квартиры, и это послужило началом «распада» необыкновенного восхитительного общества. До сих пор раздумываю, в чем причина слаженности нашего тяжелого быта, чуткого отношения друг к другу? Что служило истоком и что способствовало интенсивному творчеству и успехам молодых ученых с пятого этажа? Ответить пока не могу, необходимо подумать...

Бессонная ночь объяснила все просто. Наука объединяла и роднила всех, на обывательские дразги не оставалось ни времени, ни желания, ни сил. Учитывать следует и то, что все мы были молоды, полны надежд, в нас жил добрый дух студенчества. На пятом этаже родился наш сын Алеша.

И наша мама, и Мария Сергеевна Вернова (Меркулова) были научными работниками: мама – агрохимиком, а Мария Сергеевна – видным радиохимиком, доцентом, ученицей и сотрудницей знаменитого академика

В.Г. Хлопина. В семье Верновых двое детей: Юра – ровесник моего старшего брата Ивы (Иосифа) и Леночка – моя ровесница. В нашей семье еще сестра Людмила.

Поскольку и Мария Сергеевна, и Сергей Николаевич были очень занятыми людьми, дом Верновых держался в эти годы на плечах тетюшки Сергея Николаевича Евдокии Степановны Верновой – сестры его отца, Николая Степановича, старого петербургского интеллигента. Эта очень милая и благородная женщина (как, впрочем, и все Верновы) в свое время училась в Институте благородных девиц. Своей семьи у нее никогда не было, и она всецело отдавала себя благополучию семьи своего племянника. С моей бабушкой, Фаиной Яковлевной, они были большими подругами, и я помню, что был очень привязан к Евдокии Степановне. Называли мы ее тетя Дуся. Именно она в октябре 1944 года отвезла мою маму в роддом, где вскоре я появился на свет. Уже после того, как на рубеже 1940–1950-х годов семьи, заселявшие пятый этаж, разъехались (мы – на Большую Калужскую улицу, дом 13, Верновы – в корпус «Л» нового здания МГУ на Ленинских горах), Евдокия Степановна и моя бабушка поехали с детьми на дачу в Долгопрудный, тайно покрестили меня в тамошней церкви. По крайней мере, так свидетельствовала впоследствии моя бабушка. Она не слишком религиозная, в отличие от Евдокии Степановны, которая верила и была хранительницей православных религиозных традиций. Это делалось, конечно, в очень большой тайне, в том числе от родителей. Такие были времена. Строго говоря, в Долгопрудном у Верновых была не дача, а служебная квартира, выделенная Сергею Николаевичу как профессору физтеха.

Он был без преувеличения любимцем пятого этажа. Может быть, в силу его чисто профессорской рассеянности, какой-то неприспособленности к решению бытовых задач о нем все старались заботиться, и он отвечал неизменным доброжелательством и обаятельной, почти детской улыбкой. Они очень хорошо по-дружески с нашим папой относились друг к другу. Это проявлялось и дома, и в рабочей обстановке. Контакты не прерывались и после разъезда по разным квартирам. Несмотря на различие специальностей и характеров, они были духовно родственнее друг другу, чем многие близкие родственники или сослуживцы. Папа всегда с интересом расспрашивал Сергея Николаевича о новых достижениях физиков. Сказывалось, наверное, то, что в юности папа хотел поступить на физико-математический факультет, но как выходцу из сельской местности ему дали путевку комсомола на агрохимический факультет (селу были нужны агрономы!). Видимо, поэтому папа стремился, чтобы сыновья стали физиками. И эта мечта его сбылась. Надо сказать, что в судьбе Ивочки большую роль сыграл именно Сергей Николаевич. Он посоветовал им с Юрой после окончания физфака МГУ поступать в аспирантуру ФИАН. Ивочкиным шефом стал близкий знакомый Сергея Николаевича, Евгений Львович

Фейнберг, человек широко эрудированный и благородный, известный ученый в области теоретической физики. Через Сергея Николаевича наша семья познакомилась и с другими интересными физиками: Александром Игнатьевичем Лебединским, Николаем Алексеевичем Добротиним, Дмитрием Владимировичем Скобельцыным, а позднее с Игорем Борисовичем Тепловым и другими замечательными учеными и интересными людьми.

Во время работы в Дубне муж моей сестры Юлиан Арамович Будагов и я постоянно чувствовали дружескую поддержку Сергея Николаевича. С благодарностью мы вспоминаем и его помощь, и доброе участие в судьбе Милы Будаговой (дочери Людмилы Норайровны и Юлиана Арамовича)...

Уже в начале 1950-х годов Сергей Николаевич и папа были вовлечены в разработку программы исследований на искусственных спутниках Земли и пилотируемых космических кораблях: Сергей Николаевич – в исследования радиационной обстановки и космических лучей, а папа – в медико-биологические проблемы. В конце 1950-х – начале 1960-х годов они неоднократно совместно участвовали в пресс-конференциях, посвященных полетам в космос, а также в других совещаниях в Академии наук, где подводились итоги очередного космического этапа. Помню, они несколько раз после таких собраний приходили к нам, подолгу беседовали и вспоминали о жизни на пятом этаже. Мама всегда хлопотала у плиты и расспрашивала о житье-бытье. К этому времени уже не было тети Дуси, а Мария Сергеевна тяжело болела, и вскоре ее не стало. Лена вышла замуж и жила в Ленинграде. Мама вспоминала, как в детстве мы озорничали с Леной, которую все звали Леля. Мама, которая увлекалась стихотворчеством, даже написала целую поэму о Леле и Леше, которые заблудились в лесу. Было ли это на самом деле – я, честно говоря, не помню... Но факт, что в детстве мы были большими друзьями.

Про Юру мы знали гораздо больше, так как он работал вместе с Ивой (а позже в близкой области начал трудиться и я). Юра стал известным физиком-теоретиком, женился на Мелите Николаевне Мнацакановой (она тоже физик-теоретик!). А недавно и их сын Сергей тоже стал физиком. Очень приятно среди участников представительных научных конференций видеть Сергея Вернова... Традиции продолжаются!

Когда я вспоминаю о Сергее Николаевиче, передо мной встают как бы два образа. Один – немного рассеянный моложавый и веселый профессор «с пятого этажа», а другой – образ Сергея Николаевича 1970–1980-х годов с пышными седыми усами, собранный и значительный, признанный руководитель ядерно-физического направления в нашей стране. Это, безусловно, свойство памяти – фиксировать какие-то наиболее запоминающиеся черты образа. Сам Сергей Николаевич всю свою жизнь оставался очень добрым и доступным человеком, бесконечно преданным науке.

В 1970–1980-е годы мне посчастливилось сотрудничать с Сергеем Николаевичем и его коллегами при организации ряда научных мероприятий, в том числе школ молодых физиков. Довольно часто мы с ним встречались на научных конференциях или во время его приездов в Дубну по делам филиала НИИЯФ МГУ, одним из создателей которого он был. Его связывали близкие товарищеские отношения с Дмитрием Ивановичем Блохинцевым и Николаем Николаевичем Боголюбовым – первыми директорами Объединенного института ядерных исследований в Дубне, Венедиктом Петровичем Желеповым – одним из основателей научной Дубны. Николай Николаевич всегда отмечал большую деликатность и интеллигентность Сергея Николаевича, он сильно печалился, узнав об уходе из жизни Сергея Николаевича, которого знал не только по науке, но и как соседа по подъезду в МГУ.

Сергей Николаевич, безусловно, был мягким человеком, но эта мягкость не распространялась на науку и деловые отношения. Я несколько раз был свидетелем его довольно резкого поведения при обсуждении научных вопросов.

Сергей Николаевич с интересом отнесся к моим работам, которые вошли в докторскую диссертацию, посвященную процессам множественного рождения частиц при высоких энергиях. Он блестяще знал эту тематику, так как был одним из первопроходцев в области физики космических лучей. Именно он посоветовал мне перед тем, как представлять диссертацию к защите, добавить исследования по эффекту лидирующей частицы в рамках развиваемой мной модели, так как это, по его мнению, значительно усилило бы работу в целом. Я был достаточно молодым, впечатлительным и заметно загрустил, услышав замечания Сергея Николаевича, расценив, что учет этого замечания может привести к задержке с защитой. Он это заметил и, улыбнувшись, сказал: «Знаешь, Алеша, мне очень дорога твоя судьба в науке, поэтому я бы хотел, чтобы твоя диссертация была не просто хорошей, а очень хорошей... Ведь мы были друзьями с твоим папой...»

К тому времени папы уже не было более десяти лет. А эти слова Сергея Николаевича (как и его светлый образ) я буду помнить всю жизнь...

Через полтора года я защитил диссертацию, перед этим, конечно, учтя замечания Сергея Николаевича. Через несколько дней после защиты мы встретились в его московской квартире. Он поздравлял меня, был очень веселым и сказал: «Знаешь, что я теперь Гертруда?» Ему в тот год вручили звезду Героя Социалистического Труда. Тамара Васильевна, которая опекала его последние годы, поила нас чаем с вареньем. Сергей Николаевич много вспоминал о прошедшем. С грустью говорил об ушедших Александре Игнатьевиче Лебединском и о папе. «А ты знаешь, что твой папа давал мне рекомендацию в партию, а тогда это было не так просто...» – вдруг сказал

Сергей Николаевич. Через полтора года не стало Сергея Николаевича. Навещаю на Новодевичьем моих родителей и брата, я всегда захожу на могилу Сергея Николаевича и Марии Сергеевны.

Мои друзья и коллеги (и среди них в первую очередь В.Г. Кадышевский, В.А. Матвеев, В.И. Саврин, А.Н. Тавхелидзе) часто и с любовью, особенно в последние тяжелые для науки годы, вспоминают Сергея Николаевича, его роль в становлении нашей науки. Его научный стиль и идеи с годами видятся все более значительными.

Дубна хранит память об ученом, определившем развитие одного из важнейших научных направлений, разрабатываемых в Объединенном институте ядерных исследований. В новом районе Дубны проспект Боголюбова пересекается с улицей Вернова. Люблю проезжать этот перекресток: будто бы два великих ученых, близких мне человека, только что разошлись по сторонам, оставив нам эти улицы, этот город и нашу науку, которой они верно служили...

2004 год

СНОВА О ВЕРНОВЕ

(к 100-летию со дня рождения академика С.Н. Вернова)

А.Н. Сисакян

Когда я вспоминаю свое детство, то неизменно думаю о том, что мне очень повезло, и не только с родителями, братом и сестрой, но и с тем замечательным «окружением», которое по воле судьбы мне досталось в тот самый лучший период моей жизни.

Тогда я, правда, не считал, что детство – лучший период, и спешил повзрослеть. Спрашивал: «Бабушка, ну когда мне исполнится 10 лет?» (Этот рубеж мне тогда казался определяющим для наступления взрослости.) А бабушка отвечала: «Скоро, скоро, но ты не спеши повзрослеть, детство – это **золотая** пора...»

В том самом первом доме моего детства по улице Горького, 22а, что рядом с памятником Пушкину и напротив Музея революции мы и жили в одной большой коммунальной квартире (общежитие аспирантов-докторантов АН СССР) с семьей С.Н. Вернова и другими семьями ученых мужей. Об этом достаточно полно написано в воспоминаниях нашей мамы¹ и частично в моей статье «Штрихи к портрету Сергея Николаевича Вернова»².

Наши семьи дружили. Встречаясь с сестрой Людмилой (из нашей «прежней» семьи сегодня остались только мы вдвоем) по поводу памятных дат, мы часто вспоминаем Сергея Николаевича и его замечательную семью. В первые дни 2010 года (юбилейного не только для С.Н. Вернова, но и для нашей мамы) за чашкой чая опять зашел разговор о дружественной нам семье. Привожу ниже запись высказываний моей сестры Людмилы Норайровны Будаговой (Сисакян)³.

Очень интеллигентная и дружная семья. В небольших комнатках (не помню было их две или три) жили Сергей Николаевич Вернов, его жена, Мария Сергеевна, ученый-химик, дети – сын Юра (1937 года рождения), дочь Лена (1945 года рождения), тетя Сергея Николаевича, Евдокия Степановна (сестра отца, Николая Степановича), теща, Анна

¹ См. *Сисакян В.П.* Малое из большой-недолгой жизни // Академик Н.М. Сисакян. На путях к населенному Космосу. М., 2001. С. 98–109.

² См. *Сисакян А.Н.* Штрихи к портрету Сергея Николаевича Вернова // Академик С.Н. Вернов – ученый Московского университета. М.: УНЦ ДО, 2004. С. 116–122.

³ Будагова Людмила Норайровна – доктор филологических наук, профессор, руководитель Центра Института славяноведения РАН.

Григорьевна, сестра Марии Сергеевны, рыжеволосая Женечка. Итого семь человек. Вроде Анна Григорьевна и Женечка наезжали время от времени.

Евдокия Степановна была нам, как родная. Провожала нашу маму в роддом 14 октября 1944 года (день рождения Алешки), дружила с бабушкой нашей. Получив чуть ли не самой первой известие о кончине Евдокии Степановны (кажется, весной 1956 года, когда уже жители пятого этажа разъехались по отдельным квартирам), мама наша ринулась со мной на Ленинские горы, к Верновым, близко к сердцу приняв ее уход.

Не помню Евдокию Степановну сердитой, раздраженной. Всегда приветливая, улыбчивая, с тонким чувством юмора. Она была глубоко верующим человеком...

Теща Сергея Николаевича, Анна Григорьевна, производила впечатление настоящей дамы. Была большой поклонницей Ивана Семеновича Козловского, чем отличалась от нашей мамы, обожавшей Сергея Лемешева. Однажды Анна Григорьевна взяла меня, школьницу, в Большой театр на «Евгения Онегина», когда партию Ленского исполнил ее кумир. Как мне кажется, это было моим первым посещением Большого. Мы сидели на прекрасных местах – в середине партера, близко от сцены. Наверное, Анну Григорьевну подвела какая-нибудь приятельница, и на освободившийся билет она пригласила меня, за что до сих пор я ей благодарна.

Вообще есть за что вспоминать добром всю семью Верновых. Помню, как приютили они меня однажды весной во время школьных экзаменов. Мы тогда только что переехали с улицы Горького на Большую Калужскую улицу в отдельную квартиру. Верновы же пока оставались на старом месте, откуда совсем недалеко до моей родной 175-й школы. И, сдавая экзамены в 9-м классе, я, еще не освоившая новый долгий путь с Калужской до своей школы в Старопименовском переулке, несколько раз ночевала у них перед экзаменами, а Мария Сергеевна кормила меня вкусными завтраками, из которых запомнилась яичница.

«По наводке» Верновых мы одно лето снимали комнатку с верандой в деревне на станции Лианозово по Савеловской железной дороге, недалеко от Долгопрудного, где в физтехе преподавал Сергей Николаевич. Тогда еще Лианозово было подмосковной сельской местностью с лесами и лугами. В то лето, правда, я маялась от скуки и все мечтала, чтобы оно скорее закончилось, и я снова бы вернулась в Москву, к своим школьным друзьям. Светлым пятном того «скучного» лета (и с сегодняшних позиций настоящим подарком судьбы) был мой поход в Большой театр на генеральную репетицию балета С. Прокофьева.

ева «Ромео и Джульетта» с Галиной Улановой. Сейчас уже не спросишь у мамы и папы, как им удалось раздобыть для меня билетик.

Я не знаю в подробностях родословную С.Н. Вернова, но, по моим впечатлениям, он и его близкие принадлежали к потомственной русской петербургской интеллигенции, унаследовав и продолжив своей жизнью ее лучшие черты, традиции...

Не знаю, оттого ли, что мои братья и супруг стали физиками, т. е. соратниками Сергея Николаевича, его сына и снохи, или просто в силу прекрасных душевных качеств Вернова и членов его семьи, но из всего дружного коллектива обитателей общежития докторантов АН СССР, размещавшегося на пятом чердачном этаже старинного дома на улице Горького, где прошло наше детство и молодость наших родителей, именно С.Н. Вернов и его семья стали для нас, пожалуй, наиболее близкими, почти родными людьми.

Напомню, что в этом доме жили в то же время и академик И.М. Виноградов (но в отдельной квартире!), и будущие академики И.В. Тананаев, Г.С. Давтян и ряд других ярких ученых.

К сожалению, сохранили довольно мало фотографий, запечатлевших наши семьи вместе. В кинохронике конца 1950–1960-х остались кадры об участии С.Н. Вернова и Н.М. Сисакяна в пресс-конференциях, посвященных первым полетам советских космических кораблей. В частности, в феврале 1964 года в АН СССР проходила пресс-конференция, посвященная полетам научных станций «Электрон-1» и «Электрон-2», во время которой С.Н. Вернов сделал доклад о природе внешних и внутренних радиационных поясов Земли.

С.Н. Вернов и папа одними из первых советских ученых получили персональные приглашения баллотироваться в Международную академию астронавтики еще в 1960 г.⁴ В октябре 1962 г. Н.М. Сисакян и С.Н. Вернов выступали на сессии Отделения биологических наук АН СССР с докладами о связях и совместных работах биологов и физиков, которые необходимы при исследовании космического пространства⁵. С.Н. Вернов, В.Н. Пушков, Н.А. Добротин и Н.М. Сисакян от АН СССР принимали участие в организации и проведении в 1965 г. в США выставки «Человек в космосе».

Это скудные свидетельства из архива РАН о больших делах, которые довелось совместно совершить папе с Сергеем Николаевичем Верновым. Я же могу свидетельствовать, что они, несмотря на то, что имели разные профессии (физик – С.Н., биохимик – Н.М.), часто и подолгу беседовали о путях научного развития, и, наверное, то, что мой брат и я стали физиками, во многом связано с дружбой наших семей...

⁴ Академик Н.М. Сисакян. Портрет на фоне эпохи. М.: Наука. С. 129–130.

⁵ Там же, с. 183–188.

Вот еще одно интересное свидетельство дружбы семей Верновых и Сисакян – почтовая карточка, хранящаяся в архиве РАН (Ф. 2106). Это письмо Н.М. Сисакяна А.Г. Меркуловой – матери Марии Сергеевны Меркуловой, жены С.Н. Вернова – из Москвы в Ленинград от 11 сентября 1941 г.:

Многоуважаемая Анна Григорьевна!

После длительного лежания Вашего письма в ящике Тананаевых⁶ мне пришлось вскрыть его и ответить поскорее.

В начале июня после кратковременной болезни Ник[олай] Степ[анович] скончался. Вскоре после этого Сергей Николаевич выехал с институтом в Казань. Большинство институтов Отделения физико-математических наук сейчас находятся в г. Казани, где живет и Сергей Ник[олаевич]. Ваша дочь с внучкой и домраб[отницей] еще до отъезда Сергея Николаевича уехали к родным Маруси⁷ (около Омска).

Уважающий Вас,

Н. Сисакян (муж Варвары Петровны)

Я старался не повторять то, что было уже опубликовано в моем предыдущем очерке о Сергее Николаевиче. Ограничился лишь добавлением нескольких (может быть, в сумбурном изложении) штрихов к портрету С.Н. Вернова и его семьи, основанных на личных впечатлениях и воспоминаниях.

В нашем институте (ОИЯИ, Дубна) издавна сложились плодотворные научные связи с коллективами, возглавлявшимися Сергеем Николаевичем. Николай Николаевич Боголюбов, Александр Михайлович Балдин, Владимир Иосифович Векслер, Дмитрий Иванович Блохинцев, Бруно Максимович Понтекорво, Венедикт Петрович Желепов, Михаил Григорьевич Мещеряков и другие выдающиеся ученые Дубны с большим уважением относились к его мнению, считались с его предложениями.

В Дубне свято чтят память о Сергее Николаевиче Вернове: одна из красивейших новых улиц Дубны, названная в память об ученом скоро (после сооружения нового моста через Волгу) станет артерией, соединяющей институтскую часть Дубны с особой экономической зоной. Многочисленные прямые и косвенные ученики и последователи Сергея Николаевича в этом году примут активное участие в праздновании векового юбилея одного из основоположников отечественной физики космических лучей и физики высоких энергий.

Но хотел бы еще добавить, что, когда речь идет о людях такого масштаба и с такой позитивной жизненной программой, как в случае Сергея Николаевича Вернова, прошедшие со времени его ухода годы только позволяют бо-

⁶ И.В. Тананаев – химик, академик АН СССР.

⁷ М.С. Меркулова.

лее отчетливо увидеть истинный портрет большой Личности. В душу невольно вселяется чувство гордости за такого замечательного ученого и человека, за этот подарок судьбы – пользоваться его опекой и дружбой.

В научных направлениях сегодняшней Дубны Сергеем Николаевичем оставлен яркий след. Это и исследовательские темы, и Дубнинский филиал НИИЯФ МГУ, и его последователи, и тот замечательный дух служения Науке и Отечеству...

2010 год

СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

Г.Ф. Крымский

Я хочу рассказать о своих впечатлениях, которые накопились у меня от многочисленных встреч и бесед с Сергеем Николаевичем Верновым.

С начала 1960-х годов я принимал участие в работе Всесоюзных конференций по космическим лучам. Они проводились ежегодно в разных городах и республиках и представляли собой крупные научные события. В них участвовали не только отечественные специалисты, но и делегации из стран Восточной Европы (тогда они именовались странами народной демократии). Управлял всеми этими грандиозными и красочными мероприятиями Сергей Николаевич Вернов. Весь его облик, способ вести разговор, походка, даже манера подавать руку для рукопожатия выдавали в нем энергичного человека, характер, вполне соответствующий масштабу его деятельности.

Я попал в его поле зрения и познакомился с ним в 1967 г. Этому предшествовали такие обстоятельства. В 1966 г. в НИИЯФ МГУ я защищал свою кандидатскую диссертацию. Защита прошла благополучно, но я заранее не позаботился, чтобы пришел хотя бы один отзыв на автореферат. Поэтому работу направили на «черное» оппонирование. Однако задержка с утверждением обернулась для меня благом. Борис Аркадьевич Тверской, к которому была направлена диссертация, очень высоко ее оценил и обратил на нее внимание Сергея Николаевича.

В 1967 г. наш институт организовал очередную конференцию по космическим лучам не в Якутске, где мы находимся, а в Новосибирском академгородке. С.Н. Вернов по пути туда завернул в Якутск. Он хотел ознакомиться с ходом работ по созданию в будущем крупнейшей установки ШАЛ.

В институте Сергей Николаевич сделал доклад на нашем семинаре об открытии им и его коллегами постоянного потока МэВ-ных протонов от Солнца и о диффузии космических лучей в турбулентном магнитном поле. Эта последняя часть доклада касалась теории и в его изложении выглядела чрезвычайно просто и красиво. Это был взгляд физика, который проникает в существо вопроса и отбрасывает детали. В результате возникает наглядный образ процесса. Позже я слушал доклады профессиональных теоретиков на эту же тему. Если бы я не был ранее знаком с трактовкой С.Н. Вернова, я бы, наверное, мало что понял.

Я доложил ему о своих работах, он внимательно выслушал. По-видимому, у него сложилось хорошее впечатление, так как с той поры он стал

приглашать меня на свой семинар, включал в составы научных советов, комиссий и делегаций и беседовал со мной на научные темы во время личных встреч.

Во время упомянутой конференции в Академгородке он устроил встречу с Роальдом Сагдеевым в Институте ядерной физики. Сергей Николаевич привел с собой человек десять из числа участников конференции. Встреча проходила за знаменитым круглым столом, который был сделан по заказу А.М. Будкера и в те годы воспринимался как экзотика. Во время встречи Сергей Николаевич держал инициативу в своих руках и направлял обсуждение в нужное ему русло. Участие Р.З. Сагдеева, его ответы на вопросы и реплики внесли в дискуссию много нового и полезного. Мастерское ведение этого импровизированного семинара оставило яркий след в моей памяти.

Это мастерство Сергей Николаевич неизменно демонстрировал и потом, руководя работой своего регулярного семинара, который проходил в его директорском кабинете в НИИЯФ МГУ. Обстановка кабинета – диваны, кресла и стулья – располагала к свободному общению у доски, не создавала скованности у новичков. Руководство семинаром было активным, напористым и не позволяло участникам уклоняться от главного вопроса. А вопрос всегда вносил Сергей Николаевич.

На одном из таких заседаний обсуждался вопрос о магнитных ловушках в солнечном ветре. Это понятие возникло после открытия возрастаний солнечных (как тогда полагали) космических лучей во время магнитных бурь.

Открытие было сделано А.Н. Чарахчяном и его сотрудниками, измерившими потоки космических лучей в стратосфере. Независимо это явление было открыто также американскими физиками. Совпадение по времени этих возрастаний с магнитными бурями свидетельствовало об их связи с выбросами плазмы солнечного ветра, которые и создают бури, достигая Земли. Здравый смысл подсказывал, что такая связь возникает, если во время испускания Солнцем такого выброса в него впрыскиваются солнечные космические лучи и удерживаются в нем магнитными полями. Это и были ловушки.

Примерно за год до этого заседания мы с А.И. Кузьминым опубликовали работу, в которой показали, что если частицы космических лучей заключить в оболочку с упругими стенками, то возникает однозначная связь между энергией частиц и объемом оболочки. Ариан Ильич, который был среди участников заседания, сообразил, что нашу формулу можно применить к ловушкам. А они сильно расширяются по пути к Земле. Энергия частиц в них должна снизиться на несколько порядков. Ловушки должны быть пустыми! Это заявление Ариана Ильича было настолько неожиданным, что Сергей Николаевич возникшую ситуацию обозначил как «парадокс Кузьмина». Последующие проверки парадокса показали, что в этом заключении нет никакой ошибки. Парадокс требовал разрешения.

Сергей Николаевич не раз возвращался к этой теме и всячески стимулировал решение этой серьезной проблемы. Оно должно было привести к детальному изучению процесса ускорения частиц в тех же ловушках. В результате появился механизм турбулентного ускорения Б.А. Тверского, а мной был предложен механизм регулярного ускорения. И это нельзя считать случайным. И Борис Аркадьевич, и я, – мы оба были сподвигнуты Сергеем Николаевичем к этим работам.

Возвращаясь к теме семинаров, следует отметить, что Сергей Николаевич не только проявлял эффективное управление ими, но и привлекал к их работе крупных специалистов по тем или иным вопросам. В этом ему очень способствовал ежегодный Международный семинар по космической физике, который под его началом организовывал в Ленинграде Г.Е. Кочаров. Туда приезжали крупные ученые. В 1970 г. на первом таком семинаре присутствовал Альфен (в его присутствии один из наших физиков писал на доске букву М с индексом А и пояснял, что это альфеновское число Маха).

Сергей Николаевич «ловил» зарубежных коллег и устраивал с ними такие же встречи, как памятная встреча за круглым столом в ИЯФ. Мне запомнилась дискуссия с участием американского физика Хундхаузена и опять же Р.З. Сагдеева. Сергей Николаевич добивался от участников ответа на вопрос: почему ударные волны от Солнца быстро тормозятся?

В 1980 г. на очередном таком семинаре отмечалось 70-летие С.Н. Вернова.

Во время одной из наших бесед я спросил Сергея Николаевича, когда начал работу его регулярный семинар. Он рассказал, что, когда он был молодым сотрудником в ФИАН, С.И. Вавилов настоятельно рекомендовал ему организовать регулярную работу семинара. Их было всего трое, и они стали собираться каждую неделю и делать сообщения о прочитанной литературе по специальности. Постепенно возник семинар. Сергей Николаевич считал это дело очень важным и советовал мне уделять ему должное внимание. На своем теперь уже многолетнем опыте я убедился, что это очень хороший способ делать науку.

Несколько слов о научной школе С.Н. Вернова и о том значении, которое он придавал ее росту и процветанию. Школу Вернова составляли десятки докторов наук, в нее входило более десяти членов АН СССР и академий союзных республик.

Однажды Сергей Николаевич в разговоре назвал мне имя академика А.Н. Тавхелидзе и добавил, что в его работе нашли пересечение школа Н.Н. Боголюбова и его собственная. Я почувствовал, что это было сказано с гордостью. Свою огромную энергию Сергей Николаевич тратил, чтобы оказывать поддержку многочисленным коллективам и отдельным ученым по их просьбам или по собственной инициативе.

В 1975 г. он с небольшой группой своих спутников путешествовал на двух автомобилях из Самарканда в Бухару. Это заняло несколько часов. По пути делались остановки и осматривались достопримечательности. В его машине ехали мы с Арианом Ильичом. Он рассказал нам, что будет выдвигаться на соискание Ленинской премии группа А.Н. Чарахчяна и что плотно работать в их поддержку будет Б.А. Тверской. Он призывал и нас оказывать возможную поддержку. Та работа увенчалась полным успехом. В 1982 г. Ленинской премии была удостоена еще одна группа специалистов по космическим лучам, и опять С.Н. Вернов организовал мощную поддержку. В итоге возглавляемое им научное направление было отмечено тремя Ленинскими премиями (он сам и А.Е. Чудаков удостоились звания лауреатов раньше). Когда Сергея Николаевича уже не стало, мы пытались завоевать еще одну, четвертую премию, но на последней стадии проиграли конкурентам.

Сергей Николаевич был доступным, особенно для иногородних коллег. Такие встречи с ними могли происходить в Отделении ядерной физики Академии наук. Однажды он там представил меня академику-секретарю М.А. Маркову, когда тот заглянул в кабинет. Но чаще он принимал посетителей в своем кабинете в НИИЯФ. Он рассказывал, что прежде, чем занять этот кабинет, более 10 лет был заместителем директора у Д.В. Скобельцина, который одновременно был директором ФИАН. Дверь в этот кабинет была открыта всегда. Даже если не было его самого, референт Октябрина Владимирова старалась, чтобы гостям было удобно.

Об одной такой встрече расскажу подробно. Мой друг и коллега Н.Н. Ефимов развивал оптические методы на Якутской установке ШАЛ. Ему понадобилась помощь С.Н. Вернова, и мы пошли к нему с визитом. Николай Николаевич сообщил о попытках уловить ионизационное свечение ШАЛ и сказал, что ему нужно установить связь с предприятием в Лыткарино. Он попросил Сергея Николаевича поспособствовать ему в этом. Сергей Николаевич вынул из кармана даже не записную книжку, а стопку листочков и записал туда задание себе. Я сидел рядом и увидел, что задание записано под номером 76! Эта цифра меня поразила: она показывала тот масштаб помощи и поддержки, которую Сергей Николаевич оказывал своим ученикам и последователям. Правда, я тут подумал, что до записанной просьбы дело дойдет не скоро. Но прошло два или три дня, и Сергей Николаевич созвонился с Лыткарино, договорился о визите и поехал туда вместе с Н.Н. Ефимовым.

Конференции по космическим лучам были тоже формой поддержки коллег на местах. Во время конференций активно работал Совет по космическим лучам – Проблемный совет. Совет рассматривал назревшие организационные вопросы, в особенности те, которые касались деятельности коллективов, принимавших у себя гостей. Деятельность совета, как и организация

самих конференций, находилась под неусыпным контролем Г.Б. Христиансена, который был заместителем председателя. В этой работе ему помогала Г.Я. Горячева. Сергей Николаевич тем не менее не упускал из виду важнейшие моменты. Он пользовался случаем, чтобы нанести визит местным властям и «вразумить» их по поводу важности ведущихся работ.

Показательным является проведение симпозиума по космическим лучам в Якутске в 1972 г. В нем принимала участие большая группа физиков из стран Восточной Европы. Сергей Николаевич сделал соответствующий доклад в Якутском обкоме КПСС. Доклад иллюстрировался плакатами и был построен так, что его содержание становилось понятным местным партийным руководителям. Это было очень важно, потому что в их руках была сосредоточена большая власть.

Иностранные физики по окончании симпозиума, прежде чем улететь из Якутска, должны были отправиться на Ленские столбы на катере, принадлежащем Якутскому филиалу СО АН. Сергей Николаевич пожелал заранее осмотреть катер и убедиться, что им будет предоставлено необходимое обслуживание. Мы поехали с ним в речной порт, взойшли на борт катера «Академик», и я познакомил его с Сергеем Павловичем Королевым – капитаном и полным тезкой знаменитого конструктора. Сергей Николаевич был весьма удивлен и рассказал немного о знаменитом тезке.

Среди предубеждений или предрассудков С.П. Королева было нежелание видеть женщин на стартовых площадках. Он считал, что они там приносят несчастья. Между тем сотрудница С.Н. Вернова там находилась и занималась предполетной отладкой научной аппаратуры. И ей пришлось прятаться от грозного властелина, чтобы не стать невольной причиной его ярости.

У Сергея Николаевича были самые тесные связи с космонавтами. Я помню, что на одном из торжеств, связанных с годовщиной полета Ю.А. Гагарина, он получил слово для приветствия. Это транслировало Всесоюзное радио.

Очевидно, тесное общение с создателями космической техники навело Сергея Николаевича на мысль, что они нуждаются в справочнике, где были бы собраны все доступные сведения о физических условиях в космическом пространстве. Такой справочник был им создан и получил наименование «Модель космоса». Этот справочник затем пополнялся и многократно переиздавался. По-видимому, он пользуется большим спросом у специалистов.

Сергей Николаевич сыграл очень большую, может быть, решающую роль в судьбе Института космофизики в Якутске. Еще до войны Ю.Г. Шафер, тогда заведующий кафедрой физики в Якутском пединституте, добился утверждения научной темы по исследованию космических лучей, а научное руководство согласился взять на себя С.Н. Вернов. С начала этих работ и до своих последних дней Сергей Николаевич уделял якутским физикам много внимания.

В 1948–1949 гг. Ю.Г. Шафер на базе НИИЯФ МГУ вместе с сотрудниками этого института Н.Л. Григоровым и А.С. Муратовым создали высокоточную ионизационную камеру для исследований вариаций космических лучей. Этой работе С.Н. Вернов оказывал всяческую поддержку, и она получила высокую оценку. Группе создателей была присуждена Сталинская премия.

В декабре 1976 г. президиум СО АН СССР рассматривал работу ИКФИА. Тогда с обширным докладом на заседании президиума выступил академик С.Н. Вернов. Как и его доклад в Якутском ОК КПСС в 1972 г., изложение было хорошо проиллюстрировано и очень доходчиво, хотя стиль изложения был совершенно другой. Сергей Николаевич хорошо чувствовал аудиторию и выбирал адекватный способ преподнесения материала.

Инициативы, исходящие от ИКФИА, неоднократно рассматривались Проблемным советом, и многие из них доходили до реализации благодаря активной поддержке. Сотрудники НИИЯФ осуществляли тесное сотрудничество с якутскими физиками, работающими на установке ШАЛ, и сами провели множество своих экспериментов на этой установке.

Очень внимательно и заботливо Сергей Николаевич относился лично ко мне. Когда у меня заболела мать и ее надо было лечить в Москве, он написал письмо академику Н.Н. Блохину, с которым был хорошо знаком, и тем самым оказал мне ценную помощь.

Когда я начинал работу по автоматизации научных исследований в ИКФИА и нужно было посмотреть, как это организовано у других, Сергей Николаевич устроил мне и нашему сотруднику В.П. Валькову посещение ОИЯИ в Дубне и ИФВЭ в Серпухове.

Однажды мы поехали с ним в ФИАН, там отмечался 60-летний юбилей В.Л. Гинзбурга. В проходной на Ленинском проспекте нам сказали, что впускают с улицы Вавилова. Не помогло даже удостоверение академика. Это смутило Сергея Николаевича, который принадлежал к немногочисленному кругу основателей ФИАН. Он куда-то звонил, объяснялся, наконец нас все-таки пропустили. Зал был переполнен, но для него нашлось место в первом ряду. Торжество было выстроено как капустник, роль ведущего с большим успехом исполнял Е.Л. Фейнберг.

Мне хорошо запомнилась поездка из Новосибирска в Москву в поезде, где я впервые близко общался с Сергеем Николаевичем и Тамарой Васильевной. Это было после упомянутого заседания президиума СО. Мы тогда обсуждали много научных вопросов, но были и разговоры на общие темы. Я курил, и Сергей Николаевич предсказал тогда, что я брошу, когда мне исполнится 42 года. В ответ на мое недоумение он рассказал, что бросил курить в этом возрасте. Перед тем как поехать в санаторий, где он предполагал расстаться с вредной привычкой, он вечером интенсивно курил, а затем выкинул папиросы.

Прошло несколько лет, и я бросил курить. Спустя какое-то время я вспомнил о том разговоре. Оказалось, что я бросил курить в 43 года. Точность предсказания была высокая.

В 1981 г. на конференцию по космическим лучам в Париж летела большая советская делегация. Мы с Сергеем Николаевичем оказались в соседних креслах, и за разговором время полета прошло незаметно, хотя он не очень любил летать и почти всегда предпочитал поезд. Конференция тогда проходила в самой Сорбонне, был устроен прием в сенате, была большая статья в газете «Монд». А нам с И.Н. Топтыгиным и И.П. Иваненко выпала честь попредседательствовать на пленарных заседаниях. Наше там пребывание чуть было не омрачилось болезнью Сергея Николаевича. Вскорости после начала работы конференции у него резко ухудшилось зрение – было установлено отслоение сетчатки. Это было опасно. За дело взялся Е.Л. Фейнберг. У него оказались связи в ЮНЕСКО, и Сергею Николаевичу была сделана лазерная операция. На другой день мы с Арианом Ильичом пошли в «Шератон» и там в затемненном номере встретили Евгения Львовича. Он развлекал больного забавными рассказами. Сергей Николаевич был в хорошем расположении и радовался беседе со всеми нами. Тамара Васильевна чем-то нас угощала, и беседа длилась довольно долго.

Моя последняя встреча с ним была в 1982 г., когда я направлялся на Европейский симпозиум по космическим лучам в Рим, а он находился в больнице АН СССР. В просторной палате Тамара Васильевна возилась с завтраком, а Сергей Николаевич выглядел очень бодро и был приветлив. Он сказал, что его переводят в кремлевскую больницу и на обратном пути я не смогу с ним увидеться.

На мои 70 лет мне преподнесли драгоценный подарок – писанный маслом портрет С.Н. Вернова. И теперь он смотрит на меня с портрета так, как будто мы продолжаем беседу, которая началась когда-то очень давно.

2009 год

С.Н. ВЕРНОВ В РАДИЕВОМ ИНСТИТУТЕ

Е.А. Шашуков

В истории Радиевого института яркий след оставлен Сергеем Николаевичем Верновым и его супругой Марией Сергеевной Меркуловой. Сергей Николаевич проработал в институте с 1930 по 1936 гг., а Мария Сергеевна – с 1930 по 1951 гг. Здесь они познакомились, поступив в 1930 г. в аспирантуру Радиевого института, и далее уже не расставались всю жизнь.

Вся научная биография С.Н. Вернова была связана в основном с изучением лучей, приходящих к нам из космоса. К этим исследованиям его привлек Л.В. Мысовский, который был заведующим физическим отделом Радиевого института и с 1924 года был увлечен космическими проблемами. В 1929 г. вышла его книга «Космические лучи», явившаяся первым в нашей стране обобщением знаний того периода времени.

Рождение космической тематики в работах Радиевого института не случайно. Основатель института выдающийся естествоиспытатель академик В.И. Вернадский постоянно обращался к вопросу происхождения космических лучей и их роли в истории биосферы Земли и космоса. В своей «Книге жизни» он пишет, что «эти излучения исходят из Галактики и, по-видимому, они связаны с появлением новых звезд». И далее: «Мы должны считаться с фактом их непрерывного существования... и влияния на земные и околоземные процессы».

В 1930 г., еще будучи студентом IV курса Политехнического института, С.Н. Вернов стал сначала временным сотрудником Радиевого института, а затем аспирантом. В аспирантуре Сергей Николаевич занимался изучением космических лучей с помощью счетчиков Гейгера–Мюллера, написал реферат «Новейшие данные в изучении космических лучей». В этот же период времени С.Н. Вернов был командирован в Главную геофизическую обсерваторию для изучения космических лучей в стратосфере.

В 1934 г. для этих целей он был включен в состав экипажа стратостата ОСОАВИАХИМ, но заболел ангиной и полететь не смог. Вместо него в космос отправился И. Усыкин, который в этом полете трагически погиб. Судьба сохранила Сергею Николаевичу жизнь для свершения в дальнейшем многих научных космических подвигов.

В 1936 г. по представлению Квалификационной комиссии РИ С.Н. Вернов защитил кандидатскую диссертацию «Метод изучения космических лучей при помощи радиозондов», а в следующем году переехал в Москву для работы сначала в ФИАН, а затем в МГУ.

Связь Сергея Николаевича с Радиевым институтом не прекращалась. Поддерживались контакты по проблемам изучения космических лучей с ведущими сотрудниками института Н.А. Перфиловым, А.П. Ждановым и др. А.П. Жданов входил в состав Совета по изучению космического излучения и часто встречался с Сергеем Николаевичем.

Среди работ, выполненных С.Н. Верновым в период его пребывания в Радиевом институте, можно отметить следующие публикации:

1. *Вернов С.Н.* Продолжительность и характеристики разряда в счетчиках Гейгера–Мюллера // Труды ГРИ. 1931. Т 11. С. 30.
2. *Вернов С.Н.* On the study of cosmic rays on the great altitudes // Physical Review. 1934. V. 46. P. 822.
3. *Вернов С.Н.* Применение счетчиков Гейгера–Мюллера для изучения космических лучей в стратосфере // Труды Всесоюзной конференции по изучению стратосферы. 1935. С. 423.
4. *Вернов С.Н.* Передача по радио из стратосферы сигналов космических лучей // Природа. 1935. № 5. С. 58.
5. *Вернов С.Н.* Radio-transmission of cosmic rays data from the stratosphere // Nature, 1935. V. 135. P. 1072.
6. *Вернов С.Н.* Анализ широтного эффекта космических лучей в стратосфере // ДАН СССР. 1939. Т. 23. № 2. С. 141.

В 1977 г. С.Н. Вернов, который к тому времени был уже академиком, выступил на Хлопинском чтении в Радиевом институте с докладом «Результаты и перспективы изучения космических лучей». А М.С. Меркулова несколько ранее в 1962 г. была удостоена премии им. В.Г. Хлопина за комплекс работ в области соосаждения радиоэлементов с различными осадками. Это лишний раз подчеркивало связь супругов Верновых с Радиевым институтом, где начиналась их совместная жизнь и трудовая деятельность.

На стене исторически первого здания Радиевого института на ул. Рентгена, д. 1 установлена памятная доска, на которой отмечены академики и члены-корреспонденты АН СССР, в разные годы работавшие в институте. Среди них имеется и имя академика Сергея Николаевича Вернова.

2009 год

ЭТО БЫЛ НАСТОЯЩИЙ ДРУГ

Н.С. Иванова

26 сентября 1982 г. умер Сергей Николаевич Вернов. Я знала его примерно с 1936 г., когда он пришел в Физико-технический институт и оставил в моей комнате свою аппаратуру для изучения космических лучей на больших высотах при помощи аэростатов. Тогда Сергей Николаевич работал в Радиевом институте АН и по совместительству был приглашен Д.В. Скобельцыным в наш институт. Портативный прибор долго находился в углу моей комнаты, поскольку тогда, по-видимому, были затруднения с аэростатами. Позднее, когда Дмитрий Владимирович пригласил его в Москву во вновь организуемую лабораторию в ФИАН, этот прибор Сергей Николаевич с успехом использовал там. Следовательно, в общей сложности наше знакомство с ним продолжалось примерно 46 лет. Более близко я узнала его с 1938 года, когда вместе с лабораторией Д.В. Скобельцына была переведена в ФИАН.

Каким он был тогда? Невысокого роста, с копной светлых выующихся волос, худенький, быстрый, настойчивый, вместе с тем беспорядочный (дома на письменном столе целый ворох бумаг), делал одновременно сразу много дел, очень добрый и, безусловно, талантливый. В молодости он много курил. Встретит кого-нибудь на улице, начнет разговаривать, увлечется, жестикулирует, убеждает и непрерывно курит одну папиросу за другой. Так он курил почти в течение 20 лет. Начал в 1937 году во время экваториальной экспедиции в Тихом океане и внезапно прекратил по собственному желанию в 1957 году, будучи на отдыхе в Кисловодске. Здесь он проявил большую выдержку и настойчивость (чем очень гордился) и больше никогда не брал в рот папиросы.

В те годы Сергей Николаевич был очень непосредственный, например, разговаривая с сотрудником на улице, мог поставить свой туго набитый портфель прямо на панель, присесть на корточки и начать искать какие-то нужные документы среди вороха всяких бумаг. Всю жизнь он старался каждому помочь, если это возможно. Всегда был чем-то озабочен и обеспокоен: в молодости — своими экспериментами, а затем, когда стал уже академиком и секретарем отделения, кроме своей лаборатории и НИИЯФ, где был директором, ему прибавилось руководство исследованиями космических лучей во всем Союзе. Все это отнимало много времени и сил.

У меня установились с ним добрые дружеские отношения на всю жизнь до самой его смерти.

В Москву Сергей Николаевич переехал в конце 1936 г. и поселился на улице Горького в двухкомнатной квартире, предоставленной ему Академией наук в общежитии для докторантов вместе со всей семьей: родителями – отцом Николаем Степановичем, матерью Антониной Михайловной и женой Марией Сергеевной Меркуловой. Вместе с ними переехала и поселилась сестра жены, Евгения Сергеевна. Времена были трудные. Мать Сергея Николаевича, Антонина Михайловна, болела и умерла вскоре после переезда, в январе 1937 г. Отец, Николай Степанович, умер в самом начале войны, летом 1941 г. Помню, как я с Владимиром Иосифовичем Векслером встретила Сергея Николаевича на улице, когда отцу было очень плохо. Растерянный, опустошенный, он повторял: «Ему очень плохо, умирает, а я ничего не могу сделать и быть там не могу» – и курил, курил беспрерывно. Мы проводили его до дома, слова утешения были бесполезны. Отец скончался на следующий день.

Надо сказать, что в 1938 году, когда я переехала в Москву, в ФИАН, Сергей Николаевич не так давно вернулся из морской экваториальной экспедиции в Тихом океане, изучавшей первичное космическое излучение при помощи аппаратуры, запускаемой шарами-зондами. Сергей Николаевич почему-то тогда больше всего очень весело и образно рассказывал о Сингапуре, куда судно заходило дважды (по пути туда и обратно). Это была экзотика. Но мне кажется, нужно было рассказывать о преодолении всех трудностей, возникших в работе во время экспедиции, о чем я узнала позднее.

Экспедиция состояла из четырех человек. Сергей Николаевич – начальник, Алексей Васильевич Миронов – геофизик, Жак Исаакович Шейхзаманов – радист и Нат Леонидович Григоров – лаборант, студент второго курса МГУ. В качестве судна использовался танкер «Серго Орджоникидзе», который вез горючее на Дальний Восток. Маршрут туда – Одесса, Батуми, через Босфор в Средиземное море, Суэцкий канал, Красное море, Индийский океан и далее советский Дальний Восток (Магадан, Петропавловск-Камчатский и Владивосток). Этот путь занимал примерно 50 дней. Обратно танкер должен был идти порожним. Нат Леонидович Григоров очень образно и увлекательно описал эту экспедицию в статье, посвященной Сергею Николаевичу, с названием «Человек, преодолевающий все мыслимые и немыслимые препятствия»¹.

Я кратко изложу содержание этой статьи. В Москве были изготовлены и проверены 10 приборов, однако на пути туда выяснилось, что из-за большой влажности (примерно 100%) ни один из приборов не работал, несмотря на усилия сотрудников. Изготовили специальную изоляционную замазку для счетчиков Гейгера, расклеивали и смазали ею даже радиолампы и многое

¹ Воспоминания об академиках Д.В. Скобельцыне и С.Н. Вернове. М.: Изд-во Московского университета, 1995. С. 59.

другое. Кроме того, пришлось изготовить самодельные измерительные приборы, например электрометр. Ни одного хорошего запуска аппаратуры по дороге туда не состоялось. Во Владивосток танкер пришел, сгрузив горючее в Магадане и Петропавловске-Камчатском, примерно в октябре 1937 г. При подходе к Владивостоку случилась небольшая авария. Танкер потерял один из винтов, и ему пришлось во Владивостоке остаться на ремонт почти на полгода, до начала апреля 1938 г. Из Академии наук было получено разрешение на продолжение экспедиции на обратном рейсе. Во время стоянки Сергей Николаевич развил феноменальную деятельность. В одном из НИИ организовал ремонт и изготовление счетчиков Гейгера, изготовление нормальных элементов (несколько тысяч штук) и т. п. На пути обратно экспедиция успешно осуществила запуск трех приборов в районе экватора, результаты измерений которых вместе с данными, полученными ранее в Ереване и Ленинграде, позволили определить энергетический спектр первичных космических лучей. Эти результаты вошли в его докторскую диссертацию, которую он защитил в 1939 г.

Я специально так подробно остановилась на описании этой экспедиции, так как здесь впервые очень ярко проявились его талант, стиль работы и, я бы сказала, бойцовские качества. Ему тогда было всего 27 лет. Эти качества он сохранил на всю жизнь. Во время этой экспедиции в Тихом океане он получил радиограмму о рождении сына Юры, которого увидел в возрасте шести месяцев только после возвращения домой.

О Сереже Вернове можно говорить много общих слов: талантливый, добрый, остроумный... Но мне представляется, что для создания облика живого Сергея Николаевича лучше просто описать еще некоторые эпизоды, которые я наблюдала или в которых непосредственно участвовала. Например, запуск аппаратуры на стратостате перед войной (1939–1940). Он захватил меня с собой на старт, поскольку мне очень хотелось посмотреть на запуск стратостата. Характерно его поведение в самый ответственный момент. Аппаратура была помещена в кабине, и он сам перед полетом ее проверял. Из кабины торчали только его ноги – что-то не ладилось, и он начал исправлять. Его все время торопили, а он говорил: «Сейчас, сейчас!» – и продолжал свою проверку и налаживание до тех пор, пока не убедился, что все в порядке, и только после этого запуск состоялся. Несмотря на свою кажущуюся нерешительность, он был настойчив и почти всегда добивался своего.

Во время войны, уже в августе 1941 года, ФИАН был эвакуирован в Казань. Сергей Николаевич переехал туда один, так как жену и сына с няней отправил еще в начале войны в Сибирь. Туда же поехали и дочка Векслера с бабушкой. Думаю, что это было организовано АН, но точно не знаю. Где Сергей Николаевич жил в Казани, я не помню, так как там я была недолго, поскольку в начале апреля 1942 г. уехала в блокированный Ленинград с делегацией от АН (четыре человека), сопровождающей вагон с продовольст-

нием для ученых, оставшихся в осажденном городе. Кроме этого продовольствия было еще большое количество посылок (примерно 400) для родственников научных сотрудников, находящихся в Казани.

У Сергея Николаевича в Ленинграде осталась любимая тетя Дуся². Помню, что он собрал ей большую посылку, в которую вложил даже пряники. Почему эти пряники мне запомнились, не знаю, вероятно, их было очень трудно достать. Сейчас напишу об этой чудеснейшей Сережиной тете Дусе, остроумнейшей, беспорядочной и добрейшей. Я с ней познакомилась в блокадном Ленинграде при передаче посылки, а затем, в июне 1942 г., помогала ей отправиться вместе с эшелоном от Академии наук в Казань к Сереже. После этого моя дружба с этой семьей еще более окрепла.

Если я приезжала в Москву в командировку (с 1947 г. я работала в Ленинграде), то почти всегда останавливалась у Верновых, где меня встречали с большой радостью. Мне доставляло большое удовольствие видеть вместе Сережу и тетю Дусю. Они очень любили друг друга, и в этом доме всегда было много смеха и подшучивания друг над другом. Сережа всегда говорил, что он стал членом-корреспондентом АН СССР благодаря тете Дусе. Она как-то сказала: «Хватит тебе быть просто профессором, пора стать член-корром!» Он очень постарался и сделался членом-корреспондентом АН. Или, например, эпизод с пончиками, который я сейчас опишу. В очередной приезд в командировку в Москву я, как всегда, остановилась у них. Тетя Дуся утром, встретив меня, сказала: «Как хорошо, что ты приехала, я сейчас буду печь пончики с кремом». Прошел почти целый день. Я уходила по своим делам, возвращалась, – пончиков нет, снова уходила, и так целый день. Наконец вернулась уже вечером, довольно поздно. В большой проходной комнате (столовой) много гостей (кто – не помню) пьют чай – пончиков нет. Я присоединилась к ним. Уже было совсем поздно, когда тетя Дуся таинственно позвала меня в соседнюю комнату. Вхожу в спальню – на кровати сидит Сережа, около стоит тетя Дуся и говорит: «Вот вам пончики, на всех гостей не напасешься!» – и протягивает нам тарелку с пончиками. Мы оба, сидя на кровати, начинаем уписывать эти чудесные пончики с кремом. В этот момент распахивается дверь, и входят все гости попрощаться с Сережей, а мы сидим с набитыми ртами, и все видят, что мы потихоньку от них уплетаем эти пончики. Когда гости удалились из комнаты, нас одолел страшный хохот. Мы все трое, как говорится, просто валились с ног. Эту историю потом всю жизнь часто вспоминали мы с Сережей: «А помнишь тетю Дусю и пончики с кремом?»

Жили на улице Горького, как говорится, «в тесноте, но не в обиде», тем более что туда постоянно кто-нибудь заходил или даже приезжал в командировку, останавливался на день или два. Скажу несколько слов об этой

² Евдокия Степановна Вернова (1890–1958).

квартире. Она находилась в общежитии для докторантов, которое состояло из ряда квартир, по существу, без удобств. В них не было ни холодной, ни горячей воды, не было ванной, не было кухни. Для всех квартир на этом этаже в конце коридора – одна большая общая кухня, общие умывальники и два туалета. Жили Верновы в этой квартире, по-моему, 17 лет. Виталий Григорьевич Хлопин, директор Радиевого института АН, приезжая в Москву, обычно навещал Сергея Николаевича и его жену, с которой у него были дружеские и деловые отношения. В частности, с Марией Сергеевной Меркуловой во время ее работы в РИАН выполнено много совместных работ. Мне хочется вспомнить один эпизод, который произошел в квартире на улице Горького сразу после войны и связан с Виталием Григорьевичем. В это время я подолгу жила в Москве в гостинице, работая по подготовке экспедиции на Памир, и как-то вечером заглянула к Верновым. Когда мы сидели в столовой и пили чай, неожиданно в комнату вбежала запыхавшаяся молодая женщина-милиционер и рассказала, что она доставила человека, тогда без сознания, непрерывно повторяющего адрес Сергея Николаевича, и оставила его на лестнице. Мы все кинулись туда и обнаружили сидящего на стуле Хлопина. Он приехал в командировку в Москву, а в трамвае по дороге к Верновым почувствовал себя плохо и потерял сознание. Пассажиры решили, что он пьян, и не трогали его. Виталий Григорьевич в таком состоянии ездил некоторое время в этом трамвае по маршруту туда и обратно, пока эта молодая девушка-милиционер не обратила на него внимание. Поскольку бессознательно он повторял адрес Верновых, она почти на руках доставила его на улицу Горького. К сожалению, мы не могли даже поблагодарить ее, так как, когда мы прибежали вниз и пока хлопотали около Виталия Григорьевича, она незаметно исчезла. Мы немедленно вызвали «Скорую помощь» и отправили Хлопина в академическую больницу. У него был микроинсульт, и ему пришлось остаться в больнице. Говорили, когда он пришел в сознание, то первые слова его были: «Где я? Вроде бы у Верновых, но почему тогда здесь так чисто?» Жена Виталия Григорьевича, Мария Александровна Пасвик, на следующий день приехала в Москву и, оставаясь там на все время болезни мужа, жила у Верновых.

В квартире на улице Горького было очень тесно – всего две комнаты. В большой шкафами был отгорожен угол для Евгении Сергеевны – сестры Марии Сергеевны, а остальные полторы комнаты занимали пять человек: Сергей Николаевич с женой, двое детей и тетя Дуся. Кроме того, как я говорила, постоянно кто-то останавливался.

Некоторым облегчением явилась небольшая двухкомнатная квартира, предоставленная Сергею Николаевичу в 1949 г. на некоторое время в Долгопрудном (станция ФИАН), куда ему часто приходилось ездить в связи с работой. В этой квартире сразу же поселилась и стала постоянно жить тетя

Дуся с маленькой пятилетней дочкой Сергея Николаевича Леночкой, которую тетя Дуся очень любила и всегда ласково называла «моя птичка-ласточка».

Такая жизнь продолжалась до 1953 года, до момента получения Сергеем Николаевичем большой пятикомнатной квартиры в здании Московского университета, где он был профессором. В этой квартире собралась уже вся семья, поскольку туда же переехала из Симферополя мать Марии Сергеевны, Анна Григорьевна³. Правда, Евгения Сергеевна жила уже отдельно, с мужем. Теперь в такой большой квартире останавливались уже все друзья, приезжающие в Москву в командировку, и часто жили подолгу. Дом никогда не был пуст, всегда было шумно и весело, надо сказать, при активном участии тети Дуся.

Жена Сергея Николаевича, Мария Сергеевна, по своему характеру была полной противоположностью быстрому, темпераментному, легковозбудимому Сереже. Она всегда была спокойна и очень сдержанна, не замкнута, а именно сдержанна. Никогда не повышала голоса, но, как мне кажется, имела решающее мнение во многих семейных вопросах. Она полностью отдавала себя детям. Во время войны ей пришлось нелегко в эвакуации с маленьким четырехлетним сыном. Вернулась в Москву в 1943 г., когда возвратился ФИАН. В 1944 г. родилась дочка. Времена были трудные. Работала Мария Сергеевна в Московском университете на кафедре радиохимии до 1963 г., когда после перенесенного инфаркта ей пришлось уйти с работы. Последние полтора-два года она болела. Необходим был непрерывный уход, который Сергей Николаевич старался обеспечить всеми возможными средствами. За ней ухаживала женщина, работающая где-то ночным сторожем, все свободное время она находилась у Верновых. За это она получала от Сергея Николаевича зарплату, эквивалентную зарплате научного сотрудника – кандидата. Он не считался ни с какими расходами и трогательно заботился о больной жене. Оставить работу директор НИИЯФ, академик-секретарь и т. д. не мог, но вместе с тем, он часто ночами ухаживал за Марией Сергеевной, когда сиделка уходила на свои дежурства.

В начале марта 1973 г. в Дубне проходил какой-то симпозиум или конференция, на которой были Сергей Николаевич и я. Мы возвратились в Москву 5 марта вечером. Сережа сразу поехал домой, а я – навестить своих друзей Вишневских и хотела сразу от них поехать на поезд в Ленинград. Неожиданно мне позвонил Сережа и сказал, что, когда он вернулся домой, Марии Сергеевне было очень плохо и она только что умерла у него на руках. Я сразу же поехала к нему. Мария Сергеевна находилась еще дома, а Сергей Николаевич звонил сыну в Тбилиси, чтобы сообщить о смерти матери, и убедительно просил его не лететь на самолете, а ехать только на

³ Анна Григорьевна Меркулова (1890–1971).

поезде. Надо сказать, что в последнее время Сережа избегал полетов и просил меня, чтобы я тоже убедила Юру ехать только железной дорогой. Вскоре пришли друзья Сергея Николаевича, жившие в этом же доме, остались с ним, а я в тот же вечер уехала в Ленинград.

Далее я не часто видела Сережу, поскольку с 1946 г. жила в Ленинграде, но когда мы встречались с ним на конференциях или на симпозиумах, всегда радовались и обсуждали как научные проблемы, так и наши семейные дела.

В 1975 г. Сергей Николаевич женился вторично. Тамара Васильевна Куракина была оптимисткой, веселой и заботливой женой. Она всюду сопровождала его – и в отпуск в санаторий, и на международные конференции. Умерла она через 7 лет после смерти Сережи, в 1989 г. Сергей Николаевич умер в сентябре 1982 г. в возрасте 72 лет. Незадолго до его смерти я, будучи в Москве, навестила его в академической больнице. Он делал вид, что у него не может быть плохого диагноза, хотя, конечно, знал о своем тяжелом состоянии. Надо сказать, что он активно работал до конца жизни. Я здесь специально не писала и не перечисляла его научные достижения. Делать это кратко не имеет смысла, нужна отдельная большая статья. Ценность его открытий и работ всем широко известна. Кроме того, упомяну, что вышел отдельный том, посвященный достижениям в области космических лучей и роли Сергея Николаевича в этой области⁴.

Я пишу эти воспоминания для себя. Мне хотелось воссоздать облик Сережи Вернова, каким я его знала в разные периоды жизни. Это был настоящий друг, с которым можно было всегда посоветоваться, поговорить о научных проблемах, о семейных делах, и даже иногда весело посплетничать, особенно обсуждая очередные выборы академиков и членов-корреспондентов, в которых все академики принимали активное участие.

Сережа рано ушел из жизни, его так не хватает все последнее время.

Середина 1990-х годов

⁴ Проблемы физики космических лучей. М.: Наука, 1987.

СЕМЕЙНЫЕ ВОСПОМИНАНИЯ

Е.С. Вернова, Ю.С. Вернов, М.Н. Мнацаканова

Нам очень приятно, что выходит книга о дорогом нам человеке. Возможно, эти разрозненные заметки добавят некоторые любопытные штрихи к его портрету. Начнем с воспоминаний Елены Сергеевны.

Сергей Николаевич был поздним ребенком. Его матери, Антонине Михайловне Верновой, исполнилось 42 года, и Сергей Николаевич был ее первым ребенком. Он рос окруженный огромным числом бабушек и тетушек, единственный ребенок для всех этих взрослых людей. Он был чрезвычайно своенравным и упрямым. Во время первого причастия (наверное, четырех-пяти лет, кудрявый ангелочек в нарядном матросском костюмчике), что-то не понравилось ему в церкви, он решительно отказался выполнять то, что требовалось, топнул ногой и громко на всю церковь произнес: «Что НЕ хочу, то НЕ хочу; что НЕ хочу, то НЕ буду!» Антонина Михайловна говорила: «Ну, если такой упрямый и умный, это еще ничего, даже хорошо! А если упрямый и дурак...»

Примерно в том же возрасте Сергей Николаевич в игре очень четко выразил то, что потом стало, действительно, его жизнью: он вставал за стулом (это была кафедра) и говорил: «Я – профессор, это кафедра моя». Антонина Михайловна была исключительно одаренным человеком, прекрасным педагогом. В 1887 году она окончила педагогические курсы с золотой медалью. Сергей Николаевич учился в классе, где она преподавала математику, и рассказывал, что ее слушали, буквально затаив дыхание, а сама она никогда не повышала голоса на своих учеников. У нас сохранилось много писем и адресов к Антонине Михайловне от ее учеников, которые писали: «Вы были для нас не только педагогом, но и добрым любящим наставником, всегда о нас беспокоившимся. Мы доставляли Вам слишком много неприятностей, очень часто Вас огорчали, но Вы все нам прощали и по-прежнему относились к нам с большим вниманием». Родители Сергея Николаевича прожили долгую жизнь вместе и жили «как два голубка». Но отец Сергея Николаевича, Николай Степанович, любил повторять: «Мы ни по одному вопросу сговориться не можем!» Николай Степанович был чрезвычайно общителен и разговорчив и, когда Антонина Михайловна его останавливала, отвечал ей: «Не наступай мне на язык!» Эта фраза часто цитировалась у нас дома.



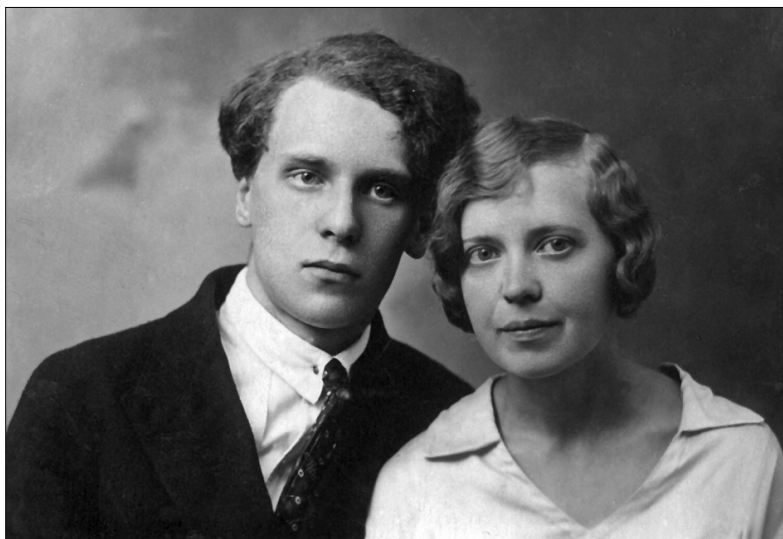
Николай Степанович Вернов (1869–1941) и
Антонина Михайловна Вернова (1868–1937)

Кажется, Антуану де Сент-Экзюпери принадлежит выражение «роскошь человеческого общения». Сергей Николаевич обладал огромным талантом человеческого общения. Он мог заговорить с любым человеком в любых обстоятельствах, например в кабине лифта. И это всегда был разговор не вежливо-холодный, а разговор взаимно интересный, в котором проявлялась яркая личность Сергея Николаевича, который вносил в каждый разговор частицу своего страстного эмоционального увлечения жизнью, причем был искренне заинтересован в мыслях и словах собеседника. Поэтому у Сергея Николаевича было огромное число знакомых, и это довольно неожиданным образом проявлялось в нашей жизни. Куда бы мы ни отправились в воскресенье на прогулку, в Филевский парк, или в Звенигород, или еще куда-нибудь, Сергей Николаевич обязательно встречал знакомого. Хорошо еще, если это не очень близкий человек и с ним Сергей Николаевич не обсуждал физические проблемы, тогда можно было ожидать, что прогулка все-таки продолжится через некоторое время. Но если это был близкий человек, тогда ожидать конца разговора приходилось очень долго.

Вообще разговоры Сергея Николаевича о работе были бичом нашего дома. Из-за этого тетя Дуся (Евдокия Степановна, сестра отца Сергея Николаевича, Николая Степановича), замечательная кулинарка, пыталась и не могла покормить Сергея Николаевича только что приготовленной едой («с варку», как говорила тетя Дуся, больше нигде мы это слово не слышали). Тетя Дуся жарила котлеты, но тут звонил телефон, и Сергей Николаевич долго говорил. Когда он кончал говорить, тетя Дуся начинала жарить новую порцию, но тут снова звонил телефон и т. д. Мы уже жили в университете, но проблема эта осталась: покормить Сергея Николаевича было очень слож-

но. Только все разогреешь, и Сергей Николаевич сядет за стол, как, конечно, звонит телефон: «Ну я попрошу, чтобы позвонили через 15 минут». – «Нет-нет, что ты, я просил позвонить, это очень важно!» Когда разговор кончается и Сергей Николаевич снова садится за стол, все повторяется снова. После того как мы раз пять грели, мы просто ставили тарелку около телефона, и Сергей Николаевич продолжал разговор, жонглируя телефонной трубкой, ложкой и ручкой. И так повторялось каждый день за каждой едой!

Сергей Николаевич и Мария Сергеевна Меркулова познакомились в РИАН, где Сергей Николаевич был аспирантом. Их роман протекал незаметно для всех, в поздние вечерние часы, когда Сергей Николаевич создавал свой прибор и сидел окутанный проводами («как паук в паутине», по выражению Марии Сергеевны), а у Марии Сергеевны шли многочасовые химические опыты.



Сергей Николаевич Вернов с женой Марией Сергеевной Меркуловой (1933)

Известие о предстоящей свадьбе произвело в РИАН впечатление разорвавшейся бомбы. Действительно, трудно было себе представить более непохожих друг на друга людей. Сергею Николаевичу было в то время 22 года. Очень одаренный, чрезвычайно веселый, спускавшийся по лестнице через три ступеньки, он мог вывинчивать и разбирать лампочки в РИАН, так как только в них была какая-то деталька, необходимая для его прибора.

Мария Сергеевна в свои 26 лет уже испытала очень много тяжелого. Она родилась в Петербурге, но детство и юность провела в Симферополе. Ее родители разошлись, и отсутствие отца воспринималось очень мучительно. Семью угнетало постоянное безденежье. В период Гражданской войны

(Мария Сергеевна родилась в 1906 г.) Крым постоянно переходил из рук в руки, так что, просыпаясь утром, не знали, какая власть в городе. Каждая новая власть объявляла призыв в армию мужчин с 16 лет, и у Марии Сергеевны были расстреляны близкие знакомые, сами еще почти что дети, за уклонение от призыва. По улицам было страшно ходить: стреляли, а на фонарях висели повешенные. В студенческие годы у Марии Сергеевны на руках умер ее младший брат, сгорел от скоротечной чахотки за три месяца.

Несмотря на столь различный жизненный опыт, у Сергея Николаевича и Марии Сергеевны было очень много общего в тех главных чертах, которые определяют позицию человека в жизни: целеустремленность, трудолюбие, общительность. В то время в РИАН компания химиков была очень веселая, и Сергей Николаевич был зачислен в химики. Эту компанию возглавлял сам директор РИАН, Виталий Григорьевич Хлопин. Ставили целые оперы (например, «Бориса Годунова», где Виталий Григорьевич – в роли Пимена), в которых слова собственные, а представление искрилось юмором, переделали и «Хованщину», постоянно устраивали розыгрыши и т. п. Сохранилось несколько фотографий, которые очень хорошо передают атмосферу, царившую в этой компании. Любили давать прозвища, причем иногда так удачно, что они заменяли настоящее имя. У А.П. Ратнера было прозвище Гиппопотамус, сокращенное до Тамус. Этим именем его называли все, и даже новые сотрудники института писали официальные бумаги на имя Тамуса.

В 1936 г. Сергей Николаевич, а немного позднее Мария Сергеевна переехали в Москву в общежитие докторантов, в мансарду старинного дома на ул. Горького, 22а, напротив бывшего Английского клуба. Это была не коммунальная квартира, а именно общежитие: прямо с лестничной площадки, пройдя по длинному коридору, попадали в нашу квартиру. На кухне стояло много столов для жильцов всего этажа. Перед кухней в нише, прямо на проходе стояли раковины, они не отделялись дверью от коридора. Не было ванны, не было горячей воды, а когда шел дождь, везде текло, всюду стояли тазы, в которые капала вода. Быт был трудный, и особенно трудный для Марии Сергеевны: тяжело с больным сердцем подниматься на пятый этаж без лифта, а от сырости начинался приступ ревматизма. И все же на пятом этаже все жили очень дружно, охотно помогали друг другу, здесь совершенно отсутствовали коммунальные ссоры. Сергей Николаевич и Мария Сергеевна переехали туда совсем молодыми. Это были, наверное, хорошие годы, и вспоминали о них всегда с удовольствием. Но все-таки, когда Мария Сергеевна говорила: «Мы прожили 17 лет на пятом этаже», за этим чувствовалось очень многое. В этой квартире появилось двое детей: о рождении сына Сергей Николаевич узнал во время своей экваториальной экспедиции, а о рождении дочери – в очереди в кооперативе, отоваривая продуктовые карточки.

Комната у нас, по сути, была одна, разделенная фанерной перегородкой на две, а ее большая часть еще делилась шкафами. В комнате было одно обыкновенное окно и еще два круглых иллюминатора, к которым нельзя было подойти, так как они были утоплены в скат крыши, и комната как бы сужалась к иллюминаторам. В этом помещении жили 6–7 человек (иногда больше), и почти постоянно кто-нибудь гостил из Ленинграда. Несмотря на трудный быт, общая атмосфера была очень веселой и оживленной, и друзья очень любили останавливаться в этой совсем лишенной комфорта квартире. Останавливался на пятом этаже и Виталий Григорьевич Хлопин, хотя у него была квартира в Москве. Очень весело решался сложный вопрос о размещении всех на ночь, и предлагались самые удивительные варианты. Сохранились воспоминания большого друга нашей семьи, врача В.И. Салтыковского, который пишет о жизни на пятом этаже. Вот некоторые выдержки из его воспоминаний.



М.С. Меркулова (Вернова)
с матерью Анной Григорьевной
и сыном Юрой (1939)

В этом доме, когдаходишь, с языка невольно срывается первый вопрос: «Вы что? Только что переехали? Или покидаете квартиру?» Вопрос вполне законный. Вот стол профессора... На нем рядом с каким-то электрическим прибором из лаборатории стоит эмалированное ведро с мукой, утюг, забытый женский коричневый чулок на академических толстых ученых книгах... и даже небольшой чемоданчик. Ноги под стол не просунешь – там стоят хозяйственные ящики... Стол украшен массивной горного мрамора чернильницей, но пера не полагается. Ручка при случае берется у восьмилетнего сына... В этом доме всегда что-нибудь ищут – шапку на голове, перчатки в кармане, щетку. «Население» мечется в поисках то платяной щетки, то галстука, то веника. Утренние проводы владыки дома полны самого яростного движения... «Да накормите же меня! Ведь уходить надо!» – вопит хозяин и сам себе несет сковородку или чашку. Наконец сборы окончены, и «сам» уходит. «Слава тебе господи! – крестится тетя (тетя Дуся). – Одного спровадила». Очередь за хозяйкой, отправляющейся читать лекцию, но на ней виснет годовалая дочка, ударившаяся в капризы... Восьмилетний «студент» уходит еще раньше. Вслед за ним бегут по

коридору, стало быть, что-нибудь забыл. Владеть домашним плацдармом остается тетя-завхоз. Узенький коридорчик, по бокам двери, точно в плохой гостинице. Система однокомнатная... Комнатка тесна до невероятия, населения до 9 душ. Шкафы и занавески, заменяющие стены, отделяют жильцов друг от друга. Гость – это уже свертнутое на ночь, идет распределение, куда кого и с кем класть спать. Только что наловившемуся до ушей гостю уже через полчаса задается вопрос (тетей Дусей) с тревогой и даже страхом: «Не хотите ли еще каши? А я вот еще тесто замесила... Пирожки». И все размещаются, и все довольны. Нахалу гостю отводится лучшая кровать, тетя у постельки годовалой девы, хозяйка с мамой на диване... Так живут и работают наши ученые. Милая, русская, добрая, ералашная семья! Солдат с ружьем пропадет среди гор чемоданов, ведер с мукой, ученых книг, утюгов, детских горшков и прочего. Среди детского рева и капризов, кухонного ада и чада разрешаются сложнейшие научные проблемы, одна рука с книгой, в другой ребенок, мозги мечутся от карточек в стратосфере, от детских пеленок спускаются в химическую колбу.

Всю жизнь Сергей Николаевич мог работать в самых невероятных условиях: в метро, в машине, в поезде, в поликлинике, качая коляску с внуками. Огромный научный энтузиазм, постоянный научный поиск – это так же естественно, как дышать, и трудно было только отключиться от этого – Сергей Николаевич страдал бессонницей. Его энергия, энтузиазм и оптимизм передавались другим людям, и он заражал своим азартным отношением к жизни и к науке. Если бы он мог прожить сто жизней, то и этого ему было бы мало, так много он хотел сделать и сохранил до конца непосредственную молодую жажду жизни.

Не считая чисто научных проблем, Сергей Николаевич постоянно кому-то помогал, за кого-то хлопотал. Это тоже была совершенно естественная и необходимая часть его жизни. Сергей Николаевич совершенно удивительно относился к своим учителям, к своим ученикам, к товарищам по работе, друзьям, семье. Как и во все, что он делал, в эти отношения он вносил искреннее и ярко-эмоциональное чувство и, например, был очень благодарен своим учителям, считал, что «стал физиком, лишь “найдя” себе учителя – Дмитрия Владимировича Скобельцына». С очень большой теплотой Сергей Николаевич всегда говорил о Ленинградском политехническом институте, который он закончил. Сейчас там висит его портрет. В своем отношении к людям Сергей Николаевич проявлял редкую теплоту и отзывчивость и очень тяжело переживал, когда помочь было нельзя. Были события, примириться с которыми он не мог даже спустя много лет, так он переживал трагическую гибель в горах Олега, сына Николая Ивановича Вавилова, в судьбе которого принимал большое участие Сергей Иванович Вавилов. Сергей Николаевич был одним из руководителей диссертации Олега Николаевича,

которую тот с блеском защитил в декабре 1945 г., впервые за несколько лет взял отпуск, а в феврале 1946 г. его не стало.

Эта страшная трагическая случайность, оборвавшая жизнь молодого блестящего физика, угнетала Сергея Николаевича, и, несмотря на всю красоту, вид гор всегда вызывал тяжелые воспоминания.

На праздновании 60-летия Сергея Николаевича Рольф Владимирович Лийк начал свое выступление словами: «Я знаю Сережу 56 лет» (он был на четыре года моложе Сергея Николаевича). Брат Рольфа, Жорж, – ровесник Сергея Николаевича. Они были очень близкими друзьями всю жизнь. И каждый их приезд (они жили в Ленинграде) становился праздником для Сергея Николаевича и всех нас. Но был совершенно особенный приезд Жоржа после 20-летней разлуки (Жорж был репрессирован). Бесконечно счастливые глаза Сергея Николаевича и молодое звучащее голоса, в которых слышался жаргон их молодости, бесшабашная радость, за которой угадывалось так много пережитых страданий.

Сергей Николаевич очень тревожился о своих близких, и мы тоже чувствовали, что наши жизни принадлежат не только нам, особенно это чувство обострилось, когда не стало Марии Сергеевны... Неожиданно выскочила из-за угла машина, и первая мысль: «Нельзя погибать, папа огорчится». А ведь в это время уже была своя семья и дети.



С.Н. Вернов с сыном Юрой (1940)

Продолжит воспоминания мой брат

По всей вероятности, я обязан папе жизнью дважды. В июне 1941 года, как раз накануне войны, когда большинство не верило в ее скорое начало, он, оценив опасность момента, прилетел в Симферополь, где я жил у бабушки, чтобы забрать меня в Москву.

Пожалуй, первое заслуживающее упоминания воспоминание связано со смертью Сталина. Мы жили тогда в Долгопрудном, а скорее всего, уехали туда сразу после 5 марта. Я очень хорошо помню, как папа волновался, не хотел, чтобы мы с мамой пошли к Колонному залу. Последовавшие события показали, насколько обоснованна была эта тревога.

Следующие воспоминания связаны с поступлением на физфак МГУ. Папа уделил очень большое внимание нашей подготовке к экзаменам, особенно по физике. Я говорю «нашей», поскольку мы занимались вместе с моим другом Иосифом Сисакяном, ныне, увы, покойным. Особенно запомнился мне день перед экзаменом, когда папа взял нас на прогулку по Москве-реке. Хотя мы с Ивой пытались заниматься даже там, наверное, такое проветривание мозгов оказалось чрезвычайно полезным. Папа и далее был весьма внимателен к моей учебе, и неслучайно мы с Ивой делали свои дипломные работы, а затем поступили в аспирантуру к его большому другу Евгению Львовичу Фейнбергу, ныне академику РАН. Папа с большим интересом и вниманием следил и за научными успехами младшего брата Иосифа Норайровича Сисакяна Алексея, ныне вице-директора ОИЯИ.

Я хорошо помню время, когда открыли радиационные пояса, помню, что, по мнению многих теоретиков, нельзя было ожидать в космосе ничего принципиально нового. Природа, однако, оказалась изощренней. Папа очень хорошо понимал, что всегда необходимы эксперименты в новой области, а космос и оказался такой областью. Папа часто повторял, что Павел Алексеевич Черенков получил Нобелевскую премию «за честность». Когда многие известные ученые говорили ему, что обнаруженного им эффекта не может быть, он отвечал: «А я его вижу». Помню, с каким азартом папа и Александр Игнатьевич Лебединский во время вечерней прогулки на Ленинских горах обсуждали физическую природу радиационного пояса. Папа не просто был увлечен наукой, он жил ею. Он постоянно обсуждал научные проблемы дома (чаще всего в длинных разговорах по телефону), в санатории «Узкое», на прогулках, в поездах. Мне особенно запомнилась одна поездка, когда с нами в одном вагоне ехал Георгий Борисович Христиансен. Они говорили, кажется, о первичном спектре космических лучей, а я наслаждался тем потоком идей, которые возникали при этом. Круг работ, которыми папа интересовался, был очень широк, но не ограничивался экспериментальными результатами. Возможно, сыграло свою роль то обстоятельство, что папа собирался стать теоретиком, и только случай сделал его экспериментатором. В тот год, когда он поступал в аспирантуру, было место только на экспериментальную специальность, а папа всегда спешил и не стал ждать год.

Очень характерным и, как мне кажется, нетривиальным был тот факт, что выдающиеся достижения других ученых приводили его в восторг. Так, папа много раз с восхищением говорил о Николае Николаевиче Боголюбове, очень интересовался работами Виктора Амазасповича Амбарцумяна. Его интересы отнюдь не ограничивались трудами маститых ученых. Фамилии молодых, на работы которых папа в свое время обратил внимание, ныне широко известны. Это, в частности, академики Владимир Георгиевич Кадышевский и Виктор Анатольевич Матвеев, профессора Борис Андреевич Арбузов и Олег Антонинович Хрусталеv. Разумеется, папа не мог входить в

технические подробности их работ, однако ему удавалось схватить суть проблемы и важность основного результата. Я также хорошо помню, как папа отстаивал работу Давида Абрамовича Киржница и Андрея Дмитриевича Линде, которая была представлена на премию Академии наук. И в этом случае папа сумел оценить яркий физический результат теоретиков в далекой от него области.

Особая тема – это отношение папы к своему учителю Дмитрию Владимировичу Скобельцыну, отношение удивительно трепетное. Уже будучи маститым ученым, он всегда с пиететом говорил о своем учителе. Я хорошо помню, как на конференции в Ленинграде, посвященной папиному 70-летию, он в своем выступлении говорил о том, что Дмитрий Владимирович и в то время воспитывал своих учеников. Возможно, в отношении него самого это и было некоторым преувеличением, но преувеличением очень характерным. И кто мог тогда подумать, что всего через два года учитель будет хоронить своего ученика.

Папа всегда стремился поддерживать новое, в частности способствовал развитию связей НИИЯФ с Дубной и Протвино. В результате в Дубне есть сейчас филиал НИИЯФ, а на ядерном отделении физического факультета МГУ есть кафедра квантовой теории и физики высоких энергий, которую с момента образования и по сей день возглавляет академик Анатолий Алексеевич Логунов. И к тому и к другому событию папа имел самое непосредственное отношение.

В течение многих лет папа был заместителем академика-секретаря Отделения ядерной физики Академии наук. Среди достижений Отделения по развитию ядерной физики и физики элементарных частиц в стране отмечу лишь создание Института ядерных исследований, которому папа по мере сил способствовал, а затем он постоянно поддерживал его первого директора, в дальнейшем академика и президента Академии наук Грузии Альберта Никифоровича Тавхелидзе.

Особое отношение у папы было к Дубне, и в частности к филиалу НИИЯФ. Как папа занимался делами филиала в последние десять лет, я мог наблюдать. В каждый свой приезд в Дубну он подолгу обсуждал проблемы филиала с его директорами, сначала с Юрием Николаевичем Лобановым, ныне, увы, покойным, а затем с Анатолием Тимофеевичем Абросимовым.

Дубна давала папе также дополнительную возможность научного общения, особенно активного с академиком Александром Михайловичем Балдиным, с которым они были соседями. В некотором смысле папа остался в Дубне навеки – там есть улица его имени.

Папа был, безусловно, человеком своего времени. Отсюда и знаменитые авралы, когда время существенно сжималось. Он с удовольствием выполнял не только научные, но и общественные обязанности. Я очень хорошо пом-

ню, как папа радовался, что стал председателем Московского комитета защиты мира, и этой стороне своей деятельности он отдавался с той же энергией, что и научной работе.

В наших разговорах на политические темы он всегда думал о том, как говорить таким образом, чтобы потом его сын не сказал чего-то лишнего. Вместе с тем по отдельным репликам я мог почувствовать, а точнее, потом оценить, насколько глубоко понимал он нашу действительность. Он не был диссидентом, но когда возник вопрос о том, что ему, возможно, придется подписать письмо против Андрея Дмитриевича Сахарова, он, не сказав никому, уехал на нашу квартиру, где в то время не было телефона.

Папа был, безусловно, честолюбивым человеком. Он очень радовался тому, что стал академиком, Героем Социалистического Труда. В последние

годы он иногда говорил о себе: «И академик и герой». Помню, как в июне 1982 года в ЦКБ он переживал, что его друг Евгений Львович Фейнберг, в то время член-корреспондент АН, не получил правительственной награды в день своего 70-летия. Вместе с тем я могу со всей определенностью утверждать, что ради удовлетворения своего честолюбия папа «ни единой долькой не отрекался от лица».

Папины ученики лучше меня могут рассказать о том, как он относился к ним. Но хочется вспомнить, как активно он добивался того, чтобы его ученики не затягивали с защитой диссертаций, в особенности докторских.

Папа старался следить за своим здоровьем, естественно, так, чтобы это никак не мешало его занятиям наукой. Почти не имея



С.Н. Вернов и М.С. Меркулова
в санатории «Узкое» (1960-е годы)

свободного времени, он все-таки каждый год отдыхал в «Узком», где мы часто ходили на лыжах. Когда мы отдыхали на Рижском взморье, кажется в 1949 году, он вместе со мной и, естественно, ради меня стал брать уроки тенниса, которые определили мое спортивное пристрастие на всю оставшуюся жизнь. Папа не был футбольным болельщиком, но ради меня, а я тогда им был, ходил несколько раз на футбол. И удивительное дело: детали

этих матчей врезались в мою память. Папа умел нетривиально заботиться о людях. Примером такого рода заботы обо мне было то, что он бросил курить тогда, когда решил, что я могу начать, воспользовавшись его примером. И действительно, видя, как трудно отвыкать от курения, я решил, что привыкать не стоит.

Увы, в некоторых обстоятельствах достоинства становятся недостатками. Желание папы как можно быстрее поправиться после операции в 1977 году, так сказать, на морально-волевых качествах привело лишь к аритмии и инфаркту легкого. Тем не менее свое 70-летие он встретил полным сил. Это был удивительно счастливый день. Папа был горд, что стал Героем Социалистического Труда, что столько людей пришло и приехало его поздравить. Самым последним приехал академик Сагдеев, мы пили кофе и коньяк в папином кабинете, и гость рассказал следующую историю: Роальд Зиннурович был в научной командировке в Израиле, а в это время в его институт позволило высокое начальство. Услышав, что Сагдеев не может подойти к телефону, так как уехал в Израиль, это начальство изрекло: «А чего еще другого от него можно было ожидать!» Юбилей прошел так весело, а всего несколько месяцев спустя выяснилось, что папа серьезно болен. А дальше ряд случайностей, о которых даже сейчас тяжело вспоминать, привел к тому, что был выбран, скажем так, неоптимальный путь лечения. И хотя папа только сам решал, как ему лучше лечиться, и, кроме того, было очень трудно предугадать ту ошибку, которую совершили врачи ЦКБ, но, как говорится, все же, все же, все же. Последние два года папиной жизни были грустными, но всего лишь за три месяца до конца папу отпустили из больницы на целых шесть месяцев (обычно отпускали лишь на три). Увы, уже примерно через месяц он снова оказался в больнице, теперь уже академической. Повидимому, папа понял свое положение. Незадолго до конца он рассказал неизвестные мне факты о прошлом нашей семьи. Мне потребовалось приложить много сил, чтобы сделать вид, что я не понял причины, по которой он это делает.

Возможно, мне следовало бы начать с того, что папа боготворил свою мать, которая не только дала ему жизнь и во многом сформировала его характер, но и продлила его жизнь почти на пятьдесят лет. Папа часто рассказывал о том, как он хотел и мог полететь на стратостате вместо Усыскина, трагически погибшего при аварии стратостата ОСОАВИАХИМ в 1934 г. Однако мать сказала: «Только через мой труп!» После гибели экипажа стратостата Антонина Михайловна часто говорила сыну: «Ты уж прости меня, Сереженька, что я лишила тебя Кремлевской стены».

Прошло уже более двадцати лет, как папа ушел из жизни. Но несколько лет назад ко мне в институте подошел шофер Академии наук, который рассказал, что он возил папу. Папу всегда тепло вспоминает работавшая с ним в Отделении ядерной физики Марина Николаевна Дидых и до последнего

своего дня вспоминала работавшая там же Клара Константиновна Злобина. Наверное, когда разные люди так долго помнят человека, то это говорит о том, что этот человек был не только большим ученым, но и по-настоящему ярким, хорошим человеком.

В жизни папы было одно событие, которое может служить прекрасной иллюстрацией к известному утверждению, что мир тесен. В конце 1930-х годов совсем еще молодой физик С.Н. Вернов запускал шары-зонды в Армении, а молодой армянский журналист взял у него интервью для республиканской русской газеты. И вот спустя почти четыре десятилетия они стали родственниками.

Журналист оказался дядей моей жены, которая и продолжит семейные воспоминания

Ни мой дядя, Сергей Мнацаканович Барсегян, ни Сергей Николаевич к моменту моего замужества об этом, естественно, не помнили. Спустя несколько лет дядя ушел на пенсию, начал разбирать архив и обнаружил текст этого интервью. Сергей Николаевич был очень рад этой находке, но опубликовали его впервые в стенгазете НИИЯФ уже после кончины Сергея Николаевича.

Наше знакомство с Сергеем Николаевичем началось с того, что он чуть не сшиб меня с ног дверью. Сергей Николаевич опоздал на несколько минут на обед, на который я была приглашена, и стремительно направился к комнате, где мы сидели. Мы же, услышав, что он пришел, двинулись ему навстречу. Поэтому не было неловкости первых минут знакомства, заполненных извинениями Сергея Николаевича. Кстати, несколько лет спустя стремительность Сергея Николаевича не обошлась так же легко Юрию Сергеевичу. Сергей Николаевич и Юрий Сергеевич договорились вместе поехать на заседание Ученого совета в Протвино: Сергей Николаевич – как член Совета, а Юрий Сергеевич – как оппонент. Торопясь, договорились, что Юрий Сергеевич выйдет прямо к машине. И вот Сергей Николаевич, увидев сына, прямо на ходу открыл дверь машины, которая не замедлила стукнуть Юрия Сергеевича по преждевременно наклонившейся голове. Сколько было волнений!

Но вернемся к тому дню, когда я впервые переступила порог квартиры, ставшей впоследствии моей на долгие годы. В тот день я познакомилась не только с моим будущим свекром, но и со своей замечательной свекровью и сразу почувствовала себя с ними очень легко. Мария Сергеевна слышала к тому времени очень плохо, ей не помогали, к сожалению, многочисленные слуховые аппараты, которые Сергей Николаевич привозил из-за границы и доставал в России. Но муж и сын, сидя от нее по разные стороны, повторяли ей все, что говорилось за столом, так что разговор мы вели общий. Мне бы

хотелось сказать, что в успехе Сергея Николаевича был немалый вклад супруги, которая освободила его от всех ежедневных забот. Сергей Николаевич подключался в особых обстоятельствах, как тяжелая артиллерия. Вспоминается эпизод, рассказанный Сергеем Николаевичем. Мы говорили о том, какое значение в том, как сложится научная карьера, играет «правильный» выбор второй половины. И Сергей Николаевич рассказал, что, когда они с Марией Сергеевной работали в Радиевом институте и Мария Сергеевна помогала ему, они поставили на зарядку аккумулятор и продолжали работать в той же комнате. В какой-то момент оба лишились чувств, но Сергей Николаевич в полубессознательном состоянии сумел выползти в коридор и, когда его там заметили, нашел силы пробормотать, что в комнате осталась Мария Сергеевна. Мне легче, чем детям, сказать, что это была замечательная семья, в которой царили любовь, забота и уважение друг к другу. В семье жили тетя Сергея Николаевича, знаменитая тетя Дуся, о которой Сергей Николаевич очень любил рассказывать, цитируя ее, и мама Марии Сергеевны, Анна Григорьевна, причем какое-то время одновременно. Тут, конечно, помогал необыкновенный такт Марии Сергеевны. Наверно, мало найдется невесток, которые при всем желании не смогут вспомнить ни одного замечания, сделанного свекровью. Я из их счастливого числа. Вообще я очень легко вошла в семью, чем, безусловно, обязана родителям мужа и его сестре. Так же легко подружились и наши родители. После кончины Марии Сергеевны, живя у нас, Сергей Николаевич не устал просить моих родителей переехать в Москву. К сожалению, переехала уже одна мама.

Исследования космических лучей привели Сергея Николаевича не только в Армению, но и в Грузию, и в частности в Тбилиси, откуда я родом и где жили мои родители, задолго до моего появления в его семье. Он дружил с Э.Л. Андроникашвили, директором Института физики АН Грузии. И вот Сергей Николаевич приехал на юбилей Э.Л. Андроникашвили и пригласил маму пойти с ним на торжественное заседание. Мама потом рассказывала, что, знакомя ее с многочисленными людьми, Сергей Николаевич не устал говорить: «Мать жены моего сына» – и ни разу не сбился на краткое «теща». Надо сказать, что Сергей Николаевич всегда останавливался у моих родителей. Я отмечаю это потому, что в то время они жили в старом доме, где кухня и туалет поутру имели температуру улицы, а колонку надо было топить дровами минут сорок, и это при том, что Сергей Николаевич при возможности принимал душ чаще одного раза в день.

Сергей Николаевич всегда говорил папе, что он не смог бы проектировать депо, как папа, ему было бы страшно, что от его ошибки могут зависеть чьи-то жизни. Они любили гулять вместе в Дубне. К Дубне относится еще одно воспоминание. К нам в гости приехали три папиных школьных товарища. Задолго до этого мы слышали от Сергея Николаевича рассказ о том, что как-то, когда решался вопрос, что ставить, а что нет на следующий

спутник, уже почти решили снять прибор НИИЯФ, к тому моменту не вполне готовый. Сергея Николаевича поддержал только военпред Александр Исаакян. Эта поддержка оказалась решающей, и прибор полетел. Каковы же были удивление и радость Сергея Николаевича, когда он в одном из папиных друзей узнал того военпреда. Не счесть, сколько раз в этот день он благодарил человека, который в тот момент уже давно был на пенсии!

Написав это, я вспомнила, как однажды Сергей Николаевич сказал мне о том, что поддержит молодого ученого, добавив: «Ведь его отца уже нет». Многие ли сделали бы так же? А как он поддерживал семью своего рано скончавшегося друга из Еревана Норайра Маркаровича Кочаряна! Приезжая в Москву, семья жила у него, он устроил вдову в больницу, держал в поле зрения научную карьеру сыновей. После кончины Александра Игнатьевича Лебединского его вдову, филолога и многолетнего к тому моменту доцента МГУ Ирину Александровну Попову, хотели выселить из квартиры в главном здании. Она говорила: «Из этой квартиры только на кладбище», и я уверена, что так бы и случилось. Но невероятные и продолжительные усилия Сергея Николаевича привели к тому, что Ирина Александровна осталась в своей квартире. На моих глазах Сергей Николаевич сделал очень много доброго очень разным людям. В Москве у нас не умолкал телефон, в Дубне, где не было телефона, после приезда Сергея Николаевича дверь не закрывалась.

Вспоминаю, что вскоре после того, как я вышла замуж, у меня появились проблемы со здоровьем, и Сергей Николаевич привел меня в академическую поликлинику. Его знали все врачи, со всеми он останавливался и разговаривал, а они мне говорили, что называют его между собой «наш главный врач». Этот титул имел под собой следующее основание. Незадолго до этого у Марии Сергеевны случился инфаркт, и Сергей Николаевич не отдал ее в больницу, а установил дома дежурство медсестер и врачей. Это ее и спасло, так как у нее случился и второй инфаркт, причем ночью. Услышал, что ей плохо, Юрий Сергеевич, а не дежурившая сестра, но это уже не важно – важно, что было кому услышать. Казалось бы, прошло столько лет после кончины Сергея Николаевича, не должно остаться людей, которые его помнят. Но несколько месяцев назад дама, делавшая мне кардиограмму, спросила, кем доводился мне Сергей Николаевич, и вспомнила, что, когда она приезжала к нему домой делать кардиограмму в последние его годы, он всегда ее провожал, благодаря, до дверей. Вероятно, тем он ей и запомнился.

Впоследствии здоровье Марии Сергеевны было предметом постоянного внимания и многих волнений Сергея Николаевича. Никогда не забуду состояния Сергея Николаевича после кончины матери Марии Сергеевны. Он очень боялся, что жена не выдержит этого известия. Чтобы смягчить удар, он привез Марию Сергеевну к нам в Дубну, где заранее пошел в «Скорую

помощь» и предупредил, что может быть вызов к человеку, перенесшему два тяжелых инфаркта. Сообщение взял на себя Юрий Сергеевич, а Сергей Николаевич ждал на террасе. Когда стало ясно, что Мария Сергеевна справилась с ударом, мы пошли к Сергею Николаевичу. Такого волнения и такого облегчения я никогда на его лице не видела. В последние годы Марии Сергеевны ему досталось очень много тяжелого. Кроме моральных страданий при виде ее состояния, на его долю выпала и большая физическая нагрузка. Мы могли помогать очень мало, так как начало болезни Марии Сергеевны совпало с рождением нашего сына. Елена Сергеевна жила в Ленинграде. Сергею Николаевичу помогала замечательная женщина, которая была помощницей моей свекрови многие годы, Анастасия Алексеевна Иванова, ставшая любимым членом нашей семьи, с ней мы дружны до сих пор. В те редкие вечерние часы, когда она должна была отлучиться до прихода Сергея Николаевича, иногда, будучи в безвыходном состоянии, ибо мы жили к тому времени не только далеко, но и без телефона, Сергей Николаевич просил подежурить у Марии Сергеевны свою многолетнюю помощницу по институту Октябрину Владимировну Кульчицкую. Со слезами на глазах Октябрина Владимировна рассказывала мне, что, благодаря, Сергей Николаевич целовал ей руки.

Вообще он умел быть благодарным. Говоря о той же Анастасии Алексеевне уже после кончины Марии Сергеевны, он сказал: «Ася должна придти к нам не столько раз, сколько нам нужно, а столько, сколько она хочет», имея в виду, что мы не должны ограничивать ее в возможности заработать в нашей семье. Сергей Николаевич вообще очень заботился об окружающих его людях. Заезжая к нам днем на служебной машине, он не уставал говорить: «Сейчас поднимется Саша, покормите его обедом», хотя прекрасно знал, что это и так доставит нам удовольствие.

Как-то Сергей Николаевич пришел к обеду вместе с Агаси Назаретовичем Чарахчьяном, который сразу стал рассказывать мне, как Сергей Николаевич спас ему жизнь во время войны. Они находились на путях и грузили приборы для эвакуации, в это время начался налет, и Сергей Николаевич буквально заставил Агаси Назаретовича лечь на землю. После налета Агаси Назаретович понял, что если бы он не послушал Сергея Николаевича, то вряд ли остался бы жить. Видно было, какое удовольствие доставлял этот рассказ Агаси Назаретовича и какие теплые чувства связывают этих людей.

Хотелось бы еще рассказать о том, как Сергей Николаевич радовался рождению внука. Мы решили, что если это будет мальчик, то назовем его Сережей, но не говорили об этом Сергею Николаевичу. И вот так совпало, что Сергей Николаевич в это время в очередной раз был в Тбилиси и, как всегда, собрались в связи с этим наши родственники и друзья. Поднимая бокал за Сергея Николаевича, папа сказал о нашем решении. Папа, сам со слезами

на глазах, рассказывал, что Сергей Николаевич был тронут до слез. Представляя кому-нибудь внука, всегда говорил: «Мой дублер». Когда мы впервые с маленьким Сережей приехали в Дубну, Сергей Николаевич рассказал нам, глядя на каменные ступени с террасы в сад, что его мама в аналогичной ситуации обила ступени деревом. Я намек поняла, но не смогла сделать того же. Еще Сергей Николаевич рассказывал, что когда в Петрограде начали стрелять на улицах, то его мама развернула зеркальный шкаф, который по сию пору нам служит, и приставила его к окну. Когда все закончилось, в белье нашли пули. Кстати, от Сергея Николаевича я получила и рецепт единственно возможного «наказания». Как-то, когда Сережа заупрямился, он рассказал мне, что на него самого действовало в таких случаях. Самое интересное, что средство, совсем не насильственное, и для «дублера» оказалось чудодейственным.

Сергей Николаевич всегда радовался приходу гостей, выходил к нашим друзьям, сидел с нами, и было видно, что ему это интересно. По субботам и воскресеньям, когда он не спешил, всегда говорил: «Я буду Шепиловым», что означало, что он хочет завтракать вместе с нами. Начинались разговоры, рассказы, и иногда эти завтраки длились долго, а иногда мы ходили вместе гулять. Если человек был симпатичен Сергею Николаевичу, он мог разговаривать с ним очень долго, например, он часами беседовал с моей двоюродной сестрой как дома, так и по телефону, доставляя и ей большую радость своими воспоминаниями.

Елена Сергеевна пишет о большой общительности Сергея Николаевича. Этой общительности я обязана жизнью. Когда я заболела, тут же выяснилось, что с самым лучшим врачом в нужной области Сергей Николаевич отдыхал в «Узком». Немедленно был найден в записной книжке номер телефона, Сергей Николаевич позвонил, и на следующий день я была в надежных руках Владимира Львовича Эйниса. Попади я к любому другому врачу, я бы не выкарабкалась, так как не замедлило обнаружиться, что я жуткий аллергик. Перепробовав с одинаковым неуспехом все известные лекарства, Владимир Львович решил попробовать новое английское средство, о котором прочитал в журнале. Так совпало, что как раз в это время Сергей Николаевич и Александр Игнатьевич Лебединский полетели в Англию на конференцию. На все деньги обоих было мне куплено нужное лекарство, которое произвело тот же эффект, но это уже моя история.

Много раз в жизни Сергей Николаевич помогал нам всячески, иногда даже иносказательно, наверное, и поэтому тоже мы до сих пор не можем смириться с тем, что не все было сделано правильно во время его болезни. Вероятно, мы слишком привыкли к тому, что он знает лучше, как надо поступать. Поэтому и мысли не возникало критически все обдумать. К сожалению, в решениях Сергея Николаевича во время болезни решающую роль играло соображение о том, сумеет ли он руководить НИИЯФ или нет после

той или иной операции. Даже находясь в больнице, он живо интересовался тем, что происходит в институте. Как-то меня попросили повезти ему некоторые бумаги на подпись, ибо просящему казалось, что бумага, подписанная академиком, будет воспринята благосклоннее. Я взяла, но опасалась, что Сергей Николаевич будет недоволен тем, что ему не дают покоя даже в больнице. Как же я обрадовалась его реакции на мой робкий вопрос, подпишет ли он. Сергей Николаевич сказал: «С удовольствием». Было видно, что ему интересно читать присланное. После этого я уже с радостью выполняла подобные просьбы. Сказать, что НИИЯФ значил много в его жизни, — это не сказать ничего. Например, он согласился на торжественное чествование в актовом зале МГУ в день своего 60-летия только потому, что в этот момент это было нужно НИИЯФ. В день 70-летия он с удовольствием принимал поздравления в своем кабинете, что было ему гораздо более по душе.

Не могу не рассказать и о том, как много сил и нервов стоил Сергею Николаевичу корпус высоких энергий НИИЯФ. Сейчас трудно поверить в то, что в Москве был запрет на строительство многого, в том числе и зданий научно-исследовательских институтов. И вот в это самое время Сергей Николаевич задумал строительство вышеупомянутого корпуса. Как-то Сергей Николаевич приехал домой в большом волнении. Выяснилось, что по бумагам идет реконструкция мастерских, а на следующий день ожидается высокая комиссия, пред взором которой предстанет котлован. Сергею Николаевичу как-то удалось выйти из положения, но разве это была единственная комиссия! Когда же корпус построили, он очень радовался тому, что имеет в нем кабинет, так как его кабинет в южном крыле физфака был также местом проведения семинаров и поэтому не всегда служил ему.

Сергей Николаевич очень ценил своих молодых коллег, которые помогали ему руководить НИИЯФ, считался с ними. Как-то, объясняя мне, что он не может решить какой-то вопрос, не узнав мнения Игоря Борисовича Теплова, его первого заместителя, он рассказал, что, когда Дмитрий Владимирович Скобельцын приходил в институт, первым его вопросом был: «Где Сергей Николаевич Вернов?» И только после того как Сергей Николаевич сел с ним рядом, Дмитрий Владимирович начинал принимать сотрудников и решать вопросы. «Так же и я поступаю в отношении Игоря Борисовича», — закончил Сергей Николаевич.

Конечно, несмотря на все другие многочисленные обязанности, делом его жизни был НИИЯФ.

2004 год

ЧЕЛОВЕК, ПРЕОДОЛЕВАЮЩИЙ ВСЕ МЫСЛИМЫЕ И НЕМЫСЛИМЫЕ ПРЕПЯТСТВИЯ

Н.Л. Григоров

Первые мои встречи с Сергеем Николаевичем произошли в 1935 году. Тогда они носили эпизодический и довольно поверхностный характер. В то время Сергей Николаевич жил в Ленинграде и изредка приезжал в Москву, где проводил свои эксперименты на шарах-зондах и субстратостатах. Для этих экспериментов ему были необходимы небольшие свинцовые аккумуляторы, которые надо было залить кислотой и зарядить небольшим током. С просьбой выполнять эту нехитрую работу Сергей Николаевич обратился ко мне, так как я в то время работал лаборантом в лаборатории атомного ядра ФИАН. Возможно, эти работы, которые я выполнял с должной тщательностью, создали мне в глазах Сергея Николаевича репутацию прилежного и исполнительного работника, и он в 1937 году предложил мне принять участие в экваториальной морской экспедиции, которую он тогда организовал и возглавил.

В этой экспедиции я, собственно, и познакомился с Сергеем Николаевичем. В ней он в полной мере проявил свои исключительные способности и характер. На меня эта экспедиция произвела сильное впечатление, запомнилась на всю жизнь. О ней я и хочу рассказать подробнее.

К началу лета 1937 года я окончил второй курс физического факультета МГУ, и лето у меня было свободно. Экспедиция должна была отплыть в августе на танкере «Серго Орджоникидзе», который вез горючее на Дальний Восток. В сентябре планировалось окончание работ и возвращение в Москву. Небольшая задержка с началом занятий на третьем курсе меня не смущала, и я с большим энтузиазмом принял предложение Сергея Николаевича.

Наша экспедиция состояла из четырех человек: Сергей Николаевич – начальник экспедиции, Алексей Васильевич Миронов – геофизик по образованию, Жак Исаакович Шейхзаманов – радист экспедиции и я, лаборант.

Целью экспедиции было измерение интенсивности космических лучей в стратосфере в районе экватора. Эти измерения должны были проводиться с помощью специальных небольших установок, разработанных Сергеем Николаевичем, которые на шарах-зондах поднимались в стратосферу, а результаты измерений передавались по радио. В этих установках частицы космических лучей регистрировались маленькими самодельными счетчиками Гейгера–Мюллера. Каждый акт регистрации частицы счетчиком по радио пере-

давался коротким писком. Во время полета установки мы должны были на слух подсчитывать число «писков» в единицу времени и одновременно записывать их на звукозаписывающем аппарате – шоринофоне.

Все лето мы трое – С.Н. Вернов, А.В. Миронов и я, – обосновавшись в лаборатории атомного ядра ФИАН, готовили установки к работе в экспедиции. Изготавливали и проверяли счетчики Гейгера–Мюллера, терморегуляторы, проверяли радиоаппаратуру установок, градуировали барографы и т. д. В итоге было подготовлено более десяти установок. Все они были проверены в полностью собранном виде, «одеты» в шубу из гагачьего пуха, а сверх нее – в чехол из непромокаемой ткани. Оставалось только в каждую установку поставить анодные аккумуляторы и аккумулятор для накала радиоламп, и тогда можно было их запускать в стратосферу. Сергей Николаевич, несмотря на массу организационных хлопот, проверял каждую установку. Число подготовленных установок значительно превышало необходимый минимум. Мы отправлялись в путь в полной уверенности в успехе экспедиции.

Первый сигнал о ждущих нас неожиданностях прозвучал уже на перроне вокзала при посадке в поезд Москва–Одесса. Нас было четверо и более четырнадцати мест багажа: 10 установок, несколько ящиков с аппаратурой и химикатами, которые мы не решились отправить малой скоростью с другим имуществом экспедиции, а у каждого еще личные вещи. Несмотря на то что мы должны были занять отдельное купе, проводник наотрез отказывался пустить нас в вагон с таким количеством вещей. Все попытки убедить его ни к чему не приводили. А время шло. До отхода поезда оставались считанные минуты, а мы с грудой багажа стояли на перроне. Сергей Николаевич куда-то убежал. По-видимому, к начальству. Уже проводник нашего вагона поднялся на площадку. Поезд вот-вот тронется! Прибегает запыхавшийся Сергей Николаевич, с ним – начальник поезда. Мы судорожно запикиваем вещи на площадку, втискиваемся в эту груду вещей, и поезд трогается. Едем!

В Одессе, дождавшись прибытия основного груза экспедиции из Москвы (баллонов с водородом), мы погрузились на танкер и отправились в путь. Сперва в Батуми за нефтепродуктами, а затем через Босфор в Средиземное море, оттуда через Суэцкий канал в Красное море, Индийский океан и далее на советский Дальний Восток. По плану основная работа должна была проходить в Индийском океане.

На этом долгом пути, длившемся около пятидесяти суток, наше судно останавливалось только в трех пунктах: при проходе Босфора и Суэцкого канала на борт судна поднималась местная полиция, проводившая паспортный и таможенный контроль. Третья остановка, в Сингапуре, для пополнения продуктов и питьевой воды, не предполагала посещения судна полицией. Эти чисто формальные моменты, как оказалось, имели немаловажное значение для работы нашей экспедиции.

В 1937 году шла война в Испании. Советский Союз поставлял горючее республиканцам. Итальянские подводные лодки топили в Средиземном море советские танкеры. Обстановка в районе всего Средиземного моря была крайне напряженной и взрывоопасной. С большим числом стран, лежавших на нашем пути, у СССР не было дипломатических отношений. В этих условиях наша экспедиция на нефтеналивном судне не должна была привлекать к себе внимания. Поэтому было решено записать всех членов экспедиции в судовую команду и начать работы только в Красном море, после прохода Суэцкого канала. Весь путь от Одессы до Красного моря мы прошли без каких-либо приключений в томительном ожидании момента, когда нам разрешат приступить к работе.

Наконец мы в Красном море. Мы организуем наши рабочие места прямо на палубе рядом с каютами капитана, старпома, радиста и других командиров команды. Здесь же и «каюта» Сергея Николаевича. Это маленькая конурка без иллюминатора. В ней помещается только узкая кровать и рядом с ней тумбочка, на которую Сергей Николаевич поставил самый главный прибор экспедиции – электрометр. Это единственный прибор, с помощью которого Сергей Николаевич контролирует работу счетчиков Гейгера–Мюллера и которым можно измерить потенциал отдельных нормальных элементов, из которых собраны высоковольтные батареи для счетчиков. «Лабораторные столы» – ящики из-под экспедиционного имущества – мы поставили около входа в «каюту» нашего начальника. Благо над этим местом находится капитанский мостик, и его палуба как раз над нашей «лабораторией». Она создает спасительную тень, иначе бы нам пришлось все время сидеть под палящим тропическим солнцем.

Пока Сергей Николаевич вместе с Алексеем Васильевичем готовили все необходимое для работы с установками, Жан Исаакович разворачивал приемный пункт в уголке каюты, а я в носовой части судна, на баке, оборудовал рабочие места для градуировки барографов и работы с аккумуляторами. На танкере с помещениями очень туго. Но капитан нашего судна П.И. Мокроус сделал все возможное, чтобы мы могли нормально работать.

Для проверки установок вместо анодных аккумуляторов были использованы сухие батареи БАС-80, а для накала радиоламп – большие аккумуляторы. Когда все было подготовлено, распаковали первую установку, подключили к ней питание, но она молчала, не работала. Сергей Николаевич не стал с ней возиться. Распаковали вторую установку, подключили к ней питание, но она тоже молчала. Третья – не работала. Четвертая – не работала. Все установки, безотказно работавшие в Москве перед отъездом экспедиции, здесь молчали!

Стало ясно, что произошло что-то совершенно непредвиденное и непонятное, что вывело из строя все установки. Это была катастрофа.

Сложность положения усугублялась тем, что судно не могло задерживаться, т. е. у Сергея Николаевича была всего пара недель для того, чтобы найти причину выхода из строя всех установок и привести установки в рабочее состояние. Все это надо было делать, не имея измерительной аппаратуры!

В распоряжении экспедиции были два измерительных прибора – электрометр и вольтмиллиамперметр. Электрометром можно было измерять разность потенциалов в пределах от десятых долей вольта до нескольких вольт. Но он был совершенно непригоден для измерения высокого напряжения батарей, питающих счетчики Гейгера–Мюллера. С помощью милливольтметра можно было бы измерить напряжение и в тысячу вольт, подключив к нему последовательно дополнительное сопротивление, но таким прибором также нельзя было измерить напряжение питания счетчиков. Для нормальных элементов, из которых были сделаны батареи, питающие счетчики, ток в несколько микроампер был током короткого замыкания.

Казалось, сама судьба стала на пути Сергея Николаевича, и положение совершенно безнадежное. Однако Сергей Николаевич бросил вызов самой судьбе! При этом он проявил замечательную изобретательность и несгибаемую волю. Шаг за шагом он стал распутывать ситуацию.

Первая поставленная им задача заключалась в том, чтобы проверить работоспособность счетчиков Гейгера–Мюллера и измерить напряжение высоковольтных батарей. Для этого Сергей Николаевич вместе с Мироновым использовали сухие батареи БАС-80, из которых они собрали высоковольтную батарею. Благо у нас оказалось достаточно много БАС-80! От этого источника счетчики нормально работали. Это уже обнадеживало.

Мне же было велено сделать электроскоп, которым можно было бы измерять напряжение батарей из нормальных элементов. Такой электроскоп был сделан из чайного стакана. Лепестки его – из тонкой фольги. Шкала – из миллиметровки. Его проградуировали от батареи из БАС-80, и он прослужил нам до конца экспедиции. С его помощью сразу была установлена причина отказа счетчиков: высоковольтные батареи не давали напряжения. И это было во всех установках!

Однако, когда на счетчики было подано напряжение от батарей БАС и они заработали, в чем Сергей Николаевич убедился с помощью электрометра, установка по-прежнему молчала: не работал усилитель импульсов. Замена радиоламп делу не помогла. Двухкаскадный усилитель импульсов был предельно прост, единственным уязвимым местом в нем было высокоомное сопротивление в цепи управляющей сетки радиолампы. Надо было измерить его величину. Как это сделать без омметра или микроамперметра? Сергей Николаевич нашел решение! Он взял большой конденсатор, подсоединил к электрометру и зарядил его до нескольких вольт. А потом подсоединил к измеряемому сопротивлению, через которое конденсатор стал разряжаться.

Измеряя время, за которое конденсатор разрядится до половины первоначального напряжения, и пользуясь законом разрядки конденсатора, он измерял сопротивления в усилителях и обнаружил, что они значительно меньше номинальных значений. Сопоставив это с тем, что все высоковольтные батареи из нормальных элементов «сели», т. е. не давали напряжений, и что по стенам кают текла вода из-за 100%-й влажности тропического воздуха, он понял, что причина всех наших неудач одна – влажность воздуха и как следствие этого сильные поверхностные утечки электричества.

Враг был найден, необходимо было его победить. Так как уменьшить влажность воздуха было не в нашей власти, то оставался единственный путь – найти такое вещество, которым можно было бы покрыть все поверхности и которое сильно уменьшало бы утечки электричества. Сергей Николаевич обратил внимание на пробочки, герметизирующие нормальные элементы, из которых были собраны высоковольтные батареи для счетчиков Гейгера–Мюллера. Каждый элемент представлял собой стеклянную трубку в виде пробирки диаметром 5–6 мм и длиной около 5 см. В трубку были вставлены два электрода, залит электролит, и трубка была сверху залита замазкой из канифоли и воска с добавлением талька для прочности. В горячем состоянии эта замазка становилась жидкой, а охлаждаясь, она затвердевала, прочно прилипала к поверхности стекла и была хорошим изолятором. Поэтому Сергей Николаевич предложил сварить такую замазку и попробовать проварить в ней все детали из текстолита, из которых были изготовлены корпуса коробок, в которых монтировались нормальные элементы и радиоусилители. Мы так и сделали. Я сварил замазку, и в ней проварили все текстолитовые детали. Этой замазкой обмазали высокоомные сопротивления. Расцолевали радиолампы. Результаты превзошли ожидания! После того как крышку электроскопа, через которую внутрь стакана проходил стержень с лепестками, помазали этой замазкой, он часами держал заряд без видимых следов утечки в условиях 100%-й влажности воздуха! Из всех высоковольтных батарей были отобраны нормальные элементы, сохранившие свою работоспособность. Из них удалось набрать батарею в 1400 В. Собранная в каркасах, проваренных в замазке, эта батарея хорошо держала напряжение. В результате была заново собрана первая установка, которая нормально работала и которую можно было пускать.

Казалось, Сергей Николаевич одержал решительную победу. К этому времени наше судно прошло почти половину пути. Запуск первой работающей установки пришлось на середину дня. Под палящим солнцем мы начали заполнение оболочек водородом. Когда мы заполняли последние оболочки, первые, уже наполненные и связанные тройками, приобрели какой-то непривычный коричневый цвет. На это тогда никто не обратил внимания. Но, как потом выяснилось, это был тревожный сигнал. Наконец все приготовления закончены. Капитан любезно приказал развернуть судно по ветру и сб-

вить ход, чтобы легче было выпустить установку с борта идущего судна. Я и Жан Исаакович побежали на наш приемный пункт. Мы хорошо слышим сигналы работающего счетчика. Я запускаю шоринофон, и мы кричим Вернову, что прием нормальный и можно установку пускать. Сергей Николаевич и Алексей Васильевич в это время на палубе командуют стартом. После нашего сигнала через десяток секунд они прибегают к нам взволнованные, надевают наушники, садятся и начинают вести счет сигналам. Установка запущена!

Однако радостная обстановка на нашем приемном пункте длилась недолго. Минут через двадцать после начала полета прибегает к нам матрос и кричит, что наша установка спускается. Это было невероятно, но тем не менее Сергей Николаевич побежал на палубу выяснить, что происходит. Прошло несколько минут. Он не возвращается. За ним побежал Миронов. И он пропал. Вскорости прекратились сигналы. В наушниках – тишина. Я остановил шоринофон, Жан Исаакович выключил приемник, и мы поднялись на палубу. Вдали, в нескольких километрах от судна, на спокойной воде Индийского океана тихо плавала наша установка, поддерживаемая несколькими шарами-зондами. По команде капитана судно на малой скорости подошло к плавающей установке, и ее легко подобрали и подняли на палубу. Это событие показало, что тропическое солнце разрушающе действовало на оболочки. Этим резко сокращалось время суток, когда мы могли запускать приборы: только в течение нескольких утренних часов. Вечернее и ночное время исключалось из-за сильных радиопомех. До прихода судна в северные воды нам не удалось из уцелевших нормальных элементов подготовить еще одну нормально работающую установку. Рейс подходил к концу, и казалось, что печальный финиш нашей экспедиции был неотвратим. Но мы тогда еще не знали Сергея Николаевича!

Маршрут нашего танкера в советских водах был такой: заход в строившийся Магадан, оттуда в Петропавловск-Камчатский и затем во Владивосток. В каждом из этих пунктов сливалась часть горючего. Из Владивостока танкер должен был порожняком вернуться в Одессу.

Сергей Николаевич связался с Сергеем Ивановичем Вавиловым, бывшим в то время директором ФИАН, и получил разрешение на продолжение работы экспедиции в течение обратного рейса судна. Поэтому еще до прихода судна в советские воды Сергей Николаевич организовал подготовку приборов для их пуска в обратном рейсе. При этом был использован весь приобретенный опыт. Все изоляционные материалы проваривались в замазке из воска с канифолью и тальком. Велась подготовка к изготовлению новых нормальных элементов с использованием стеклянных пробирок от вышедших из строя элементов. Сам Сергей Николаевич проверял работоспособность счетчиков Гейгера–Мюллера и отбирал те, которые нуждались в перенаполнении чистым газом.

При подходе судна к Владивостоку с ним произошла небольшая авария: он потерял один из винтов. До Владивостока судно дошло на одном винте и стало на ремонт в порту. На теплоходе был запасной винт, и ремонт представлялся недолгим. Пока судно стояло в порту в ожидании, что на одном из судоремонтных заводов Владивостока проведут необходимые работы, Сергей Николаевич развил феноменальную деятельность. В одном из НИИ он организовал ремонт счетчиков. Достал химикалии, необходимые для изготовления нормальных элементов. В своей маленькой каюте мы с Жаном Исааковичем занялись изготовлением новых элементов. Их необходимо было несколько тысяч штук, так как для одной установки требовалось более тысячи.

Нужно сказать, что во Владивостоке Сергеем Николаевичу впервые за всю экспедицию крупно повезло: ремонт нашего судна затянулся на много месяцев! Вместо предполагавшихся двух-трех недель мы простояли с октября до начала апреля следующего, 1938 года. За это время практически заново были собраны многие установки, и мы отправились в обратный рейс во всеоружии приобретенного опыта.

В обратном рейсе экспедиция выпустила в районе экватора три установки. Полеты прошли успешно. Вместе с измерениями в Ереване и Ленинграде они дали Сергею Николаевичу исходные материалы, по которым он получил энергетический спектр первичных космических лучей. Измерения в экспедиции составили основу его докторской диссертации, которую он блестяще защитил в 1939 году в возрасте 29 лет.

Нобелевский лауреат Л. Брэгг в своей статье «Что создает ученого» (опубликована в журнале «Наука и жизнь» № 9 за 1970 г.) отметил следующие три качества, которыми обладали его молодые сотрудники, сделавшие блестящую карьеру – энтузиазм, бульдожью хватку и способность непредубежденно посмотреть на проблему. Сергей Николаевич продемонстрировал все эти три качества в экспедиции 1937–1938 годов.

Человеком, преодолевающим все мыслимые и немыслимые препятствия на пути к истине, запомнился мне Сергей Николаевич Вернов на всю мою долгую жизнь.

1995 год

МОИ ДОВОЛЬНО СУМБУРНЫЕ ВОСПОМИНАНИЯ

Л.Т. Барадзей

Если говорить об истории Долгопрудненской научной станции (ДНС) ФИАН, надо не забывать и о НИИЯФ МГУ, так как они образованы почти в одно и то же время (Постановлением СНК СССР от 28.01.1946 г. – НИИЯФ и от 4.03.1946 г. – ДНС), а большинство первых работающих на ДНС людей были сотрудниками НИИЯФ. И еще следует вернуться в предвоенные годы.

Как известно, Сергей Николаевич Вернов учился и начинал свою научную деятельность в Ленинграде. В Москве на физфаке МГУ он появился, по-видимому, в 1939 году. Во всяком случае, во втором семестре, с февраля 1940 г., на физфаке МГУ уже была создана группа по изучению космических лучей, где С.Н. Вернов читал курс лекций. Старостой группы был Олег Васильевич Егоршин (погиб на фронтах Великой Отечественной войны). В группе было восемь человек: пять студентов физфака и три сотрудника. Помню, что среди них была Л.Б. Прохорова, впоследствии сотрудник 19-го корпуса.

Я вспоминаю, что экзамен С.Н. Вернову по космике я сдавала в старом ФИАН на Миусской, в лаборатории на втором этаже за столом, на котором стоял токарный станок. Весной 1941 года, после рождения сына Алексея, я начала делать диплом с камерой Вильсона у Л.В. Грошева. В ФИАН из Ленинграда приехала четверка друзей – С.Н. Вернов, Л.В. Грошев, И.М. Франк и Н.С. Иванова. Потом началась война, и нас всех разбросало в разные стороны. Я была эвакуирована с сотрудниками МГУ в Татарию, гдехватила лиха с маленьким Алексеем, и откуда с трудом перебралась к матери, домой на Дальний Восток, в железнодорожный поселок Завитая. Там я проработала учителем физики и математики с октября 1941 г. по октябрь 1943 г. Физфак МГУ, насколько мне известно, сначала был в Алма-Ате, а затем в Свердловске, а С.Н. Вернов – с академией в Казани. Первым в Москву из эвакуации вернулся университет, и декан А.С. Предводителев начал собирать своих студентов. Летом 1943 года я получила вызов вернуться в Москву для продолжения учебы. С.Н. Вернов был еще в Казани, но на физфаке начал читать лекции по ядерной физике Д.В. Скобельцын.

Одновременно в Институте физпроблем (в «Капичнике») начали читать лекции такие светила, как Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц, П.Г. Стрелков, А.И. Шальников. Мы с Н. Биргер двинулись туда, и там же я начала делать диплом у П.Л. Капицы. В начале 1944 года в Москве появился Вернов. Он

разыскал меня в «Капичнике» и пригласил делать диплом на кафедре космических лучей (на пустом, пока, месте), но я решила окончить диплом у П.Л. Капицы. По просьбе П.Л. Капицы на меня прислал заявку Балашихинский кислородный завод (с общежитием), но А.С. Предводителев эту заявку отклонил, сказав, что вызывал меня не для этого, а для аспирантуры на кафедре космических лучей. Так С.Н. Вернов, хотел он этого или не хотел, получил аспирантку. В 1944–1945 гг. были экзамены. Помню, что сдавали два языка, а по спецпредмету я писала реферат по эффекту Черенкова.

Пока я сдавала экзамены в аспирантуру, С.Н. Вернов развернул активную деятельность, организуя эксперименты по космическим лучам – запуск зондов с территории ЦАО – и по созданию НИИЯФ МГУ и ДНС. Во-первых, он добился выделения помещений в старом здании физфака – две комнаты в подвале: № 3, где расположился Л.В. Грошев, и № 5, которая стала основой будущей ДНС. Еще было помещение в башне, где в основном расположился демобилизованный Н.Л. Григоров с несколькими сотрудниками. В подвале трудились инженер С.И. Бриккер, лаборант И.М. Евреинова, дипломница Т.Н. Жуйкова (впоследствии – доктор физико-математических наук Таисия Никаноровна Чарахчян). Туда же после экзаменов в аспирантуру весной 1945 года втиснули и меня вместе с сагитированным на эту работу студентом 3-го курса, демобилизованным солдатом Ю.А. Смородиным. Комната № 5 была чуть-чуть побольше, а может быть, и такая же, как комната № 18 на ДНС, и там мы работали, как говорится, в тесноте, но не в обиде.

В 1945 г. С.И. Бриккер, И.М. Евреинова и Тася Жуйкова уже запускали зонды. На территории ЦАО выделили какую-то сторожку. Все делали своими руками – и счетчики, и батареи, и барографы. Мы с Ю.А. Смородиным занялись изготовлением счетчиков Гейгера–Мюллера с серебряным катодом. Серебро добывали из выброшенных кем-то батарей Вестона. На изготовленных нами больших счетчиках сделал свою диссертацию Г.Т. Зацепин. В комнате № 5 было тесно, но весело. Наша работа считалась очень вредной из-за вакуумной установки. Мы «по вредности» часто получали шоколад. Были пиры. В комнате № 5 частым гостем бывал Д.В. Скобельцын, он часто «стрелял» закурить у Ю.А. Смородина и С.И. Бриккер. Но когда он отоваривался по своему абонементу, то приходил «богатым» и делился со всеми.

К 1946 г. С.Н. Вернов получил для вновь организованного НИИЯФ МГУ здание школы, а где-то у зоопарка – помещение для мастерских (царство Муратова). В 1945 г. началось «собираение» сотрудников для НИИЯФ МГУ и ДНС. Составлялись списки для отзыва из армии студентов старших курсов физфака и сотрудников ФИАН. Мы помогали в составлении таких списков, а Сергею Николаевичу удалось «пробить» постановление. Так были демобилизованы Г.Т. Зацепин, А.М. Куликов, Л. Катук, И.С. Ша-

пиро и Ф.Л. Шапиро, М.И. Подгорецкий, Н.Л. Григоров и др. По ФИАН – А.Н. Чарахчян и А.С. Муратов. Из-за последнего на С.Н. Вернова долго обижался С.И. Вавилов. В Долгопрудный я приезжала до 1947 г. всего несколько раз – с С.Н. Верновым на прием к начальнику ЦАО насчет постройки финских домиков и на семинары, которые начались в 1946 г., когда был построен первый финский дом за старым одноэтажным зданием ЦАО.

Для моей диссертации сначала было предложено исследование кривой поглощения космических лучей в атмосфере на ракете. Это была жутко секретная работа. Я помню, как мы проверяли установки на прочность, бросая их в лестничный проем с третьего этажа в старом ФИАН. Из моей секретной темы ничего не вышло (секретности не хватило – не разрешили), и я перешла к исследованию на шарах-зондах. Это были уже 1946–1947 годы, и я по совместительству, как и все сотрудники комнаты № 5, территориально стала работать на Соколе. Занималась вместе с Сергеем Петровичем Соколовым установкой для исследования кривой поглощения космических лучей в стратосфере. В Долгопрудный я ездила редко. Знаю, что все, кто работал в Долгопрудном, ездили на маленьком автобусе со знаменитым шофером Додоновым. К тому времени на территории ЦАО уже было построено еще три финских домика, а первый дом был передан ЦАО. В домиках располагались: в первом – мастерские (царство братьев Ильинских), во втором – ФИАН, в третьем – НИИЯФ. В первые годы сотрудников НИИЯФ на ДНС было больше, чем сотрудников ФИАН.

Летом 1947 года в первом финском доме нам с Ю.А. Смородиным, с которым мы успели пожениться, выделили четвертую часть домика (маленькую комнату, где помещались стол, диван с клопами и пара стульев). Мама с Алексеем, которых я привезла с Дальнего Востока, оставались в Останкино, где у меня была комната в общежитии как у аспирантки. Годы 1946–1954-й запомнились как самые тяжелые. Все мои домочадцы были больны: мать – после менингоэнцефалита, сын – осложнение после кори, перенесенной в эвакуации (кожное заболевание, нынче все это идет как аллергия), брат – после плена – с туберкулезом. Я собралась бросать аспирантуру и идти работать, но Сергей Николаевич меня отговорил. Он сделал мне полную ставку инженера в НИИЯФ вдобавок к аспирантской стипендии.

Ю.А. Смородин в это время кончал физфак, но внезапно у него тоже обнаружили туберкулез – две каверны. Это не шутка! Его «тащили» всем миром. Я помню, как мы с С.Н. Верновым ездили в ЦТИ на прием к Л.К. Богушу, чтобы Ю.А. Смородина положили в этот институт на операцию по удалению части ребер – торакопластику. Как горько острили тогда больные, «лучше ребра – Богушу, чем Богу – душу». Помню, как всегда в таких случаях, Сергей Николаевич в машине надевал свои ордена и прочие знаки отличия. Операцию Ю.А. Смородину сделали, и успешно. Для послеопера-

ционного лечения (уже в домашних условиях) Д.В. Скобельцын передал нам уникальное в то время лекарство – американский синтомицин, который он привозил для своей жены из США. Я ездила за ним домой к Дмитрию Владимировичу, и он уговаривал меня не оставлять это лекарство в больнице, поэтому я два раза в неделю ездила в ЦТИ с двумя ампулами, там мне его разводили, а колола его моя мать.

Конечно, я написала мало, и в основном это получилась не история ДНС, а моя история и ее связь с историей создания ДНС и НИИЯФ.

Диссертацию свою я все же защитила, хотя успехи в радиотехнике у меня были самые плачевные (об этом не раз вспоминал П.Н. Агешин на всяких собраниях, по-современному – тусовках). У меня были замечательные помощники. Во-первых, это радиоинженер Сергей Петрович Соколов, во-вторых, дипломник Юрий Александрович Смородин. Между прочим, когда Ю.А. Смородин защищал свой диплом, его подверг «разгрому» Г.Т. Зацепин. Во-первых, за то, что у него в дипломе отсутствовала вводная часть и, во-вторых, что он не отразил в своем дипломе роли руководителя, аспирантки Л.Т. Барадзей. Так будет всю жизнь!

А еще я хотела сказать, какие у нас бывали семинары. Все результаты, которые получались с запускаемыми приборами, были новыми и первыми и представляли большой научный интерес. Сергей Николаевич носился с ними, как не знаю с чем, приглашал на обсуждение лучшие умы Москвы. Например, на семинаре, на котором обсуждались первые результаты о высотном ходе мягкой и жесткой компонент в атмосфере, полученные с моим прибором, присутствовал цвет науки Москвы: И.Е. Тамм, Е.Л. Фейнберг, В.И. Векслер, С.З. Беленький. Они рассматривали мои довольно небрежно нарисованные графики, качали головами и причмокивали. Эта картина осталась у меня в памяти на всю жизнь. В 1949 г. С.Н. Вернов за цикл работ, выполненных на научной станции ФИАН, получил Сталинскую премию.

2002 год

ВОСПОМИНАНИЯ О С.Н. ВЕРНОВЕ

В.С. Мурзин

В вестибюле двухэтажного здания бюро пропусков ЛИПАНа царили полумрак и тишина. Мы, несколько человек из НИФИ-2, ждали, когда будут готовы пропуска на семинар, ожидавшийся мною с большим нетерпением. Предстояло услышать дискуссию о варитронах между авторами открытия А.И. Алихановым и А.И. Алиханяном и их оппонентами Д.В. Скобельцыным и С.Н. Верновым. Я был начинающим аспирантом, и эти имена казались мне принадлежащими к недоступному для меня миру. Знаком я был лишь с Сергеем Николаевичем Верновым, который любезно предложил мне быть его аспирантом. Медленно и томительно тянулись минуты ожидания. И вдруг в зале произошло что-то, возникло какое-то движение, то ли ветерок пронесся – я не успел даже понять, – в следующий момент открылась входная дверь и в вестибюле возник Сергей Николаевич. С тех пор, вероятно, имя Вернова ассоциировалось у меня с движением.

Я познакомился с Сергеем Николаевичем в 1949 г., хотя на его лекциях по физике космических лучей мне уже приходилось бывать. А более близкое знакомство состоялось так. Наш преподаватель по ядерной электронике Алексей Александрович Санин неожиданно предложил мне участвовать в экспедиции на экватор. Неужели я мог отказаться? Произошло это в самых последних числах декабря 1948 г. Сразу после зимних каникул я начал работать в лаборатории космических лучей. Конечно, я весьма смутно представлял себе, чем я должен заниматься. Знал только, что должен построить какой-то электронный прибор для измерений чего-то где-то там высоко на границе атмосферы. И я с энтузиазмом взялся за работу. На первых порах моим учителем была Ирина Михайловна Евреинова, старший лаборант, мастер на все руки, человек удивительной доброты и благорасположения.

Где-то в начале февраля в здании НИФИ-2 я спускался с четвертого этажа, где находилась лаборатория, навстречу мне стремительно поднимался человек, и, чуть не столкнувшись с ним, я вдруг понял, что это Сергей Николаевич. «А почему вы не были на семинаре? – обратился он ко мне. – Вы должны ходить на все семинары, это по пятницам. В Долгопрудном. Запаситесь бутербродами». – «Зачем на семинаре бутерброды», – подумал я. Лишь позднее мне стало понятным значение этого предупреждения.

Маленький автобус отправлялся от старого здания ФИАН на Миусской в 9 часов утра. Когда я пришел, в автобусе уже было несколько человек, в том числе кроме Сергея Николаевича мой непосредственный руководитель

Н.Л. Григоров, А.Д. Соловьев и другие незнакомые мне люди. Сергей Николаевич что-то оживленно обсуждал и, увидев меня, сказал: «Ага, ну что ж, поехали», и автобус тронулся. Я по скромности приютился в самом конце салона и до меня сквозь шум двигателя прорывались лишь отдельные обрывки фраз. «Высотный ход, толщина поглотителя, присчет...» — доносился громкий голос Сергея Николаевича. Оказывается семинар уже начался.

В Долгопрудном находилась станция по изучению космических лучей ФИАН, и оттуда с большой огороженной площадки производились запуски установок, подвешенных на длинных гирляндах воздушных шаров, применявшихся для подъема в атмосферу метеозондов. В Долгопрудном жили и работали многие сотрудники: А.Н. и Т.Н. Чарахчян, А.М. Куликов, Ю.А. Смородин, Л.Т. Барадзей и др. Сергей Николаевич открыл семинар. Обсуждались результаты одного из последних полетов. Докладывал Агаси Назаретович Чарахчян. На этих первых семинарах я понимал далеко не все, но стеснялся задавать «глупые» вопросы, боясь прервать ход обсуждений. Нужно отметить, что на семинарах присутствовало очень небольшое число физиков, непосредственно занятых в исследованиях с помощью шаров-зондов. Я был не единственным студентом на этих семинарах, но самым «зеленым». Вероятно, непонимание некоторых вещей рисовалось на моем лице. К своему удивлению, я вскоре заметил, что Сергей Николаевич иногда прерывал докладчика и давал пояснения как бы специально для меня. Вообще атмосфера на семинаре была самая непринужденная. Докладчика прерывали все, и вскоре уже непонятно было, кто докладчик, а кто слушатель — монологи слушателей иногда затягивались надолго. Вначале была какая-то физика, но вскоре все утонуло в методических вопросах. То и дело слышалось «а телесный угол мал», «а присчет как учитывали?», «но был же и усчет» — это уже выражение Агаси Назаретовича. Я поглядывал на часы: время приближалось к часу дня, пора и закругляться: обсуждение длилось три часа. И действительно, Сергей Николаевич наконец сказал (думал, он объявит конец семинара): «Продолжим через полчаса, пора подкрепиться». Вот здесь-то я и понял предупреждение Сергея Николаевича о бутербродах.

Вскоре семинар возобновился, но, по-моему, все уже забыли, кто был докладчиком, и выступавшие, как мне казалось, говорили о чем-то своем, об измерениях электронно-фотонной компоненты, об ионизации, порогах регистрации «толчков» и т. д. На самом деле все это относилось к единому комплексу вопросов: какова природа первичного космического излучения и его поведение в атмосфере. Сейчас трудно себе представить, что в 1949 году наука достоверно не знала знака заряда первичных частиц, механизмов передачи энергии космическими лучами вторичным компонентам и многого другого, что сейчас кажется само собой разумеющимся.

После семинара, который закончился около 5 часов вечера, Сергей Николаевич спросил меня, каковы мои впечатления, и я посетовал, что почему-то обсуждались в основном «присчеты» и «усчеты». И тут он дал мне первое указание. «Запомните, – сказал Сергей Николаевич, – эксперимент – это на 90% методика».

Постепенно, от семинара к семинару, мне все яснее становилась программа исследований. Сергей Николаевич очень широко и четко поставил задачу – определить природу первичных космических частиц. Для решения вопроса был использован метод, применявшийся в экспериментах С.Н. Вернова еще в довоенные годы, – подъем научной аппаратуры на воздушных шарах-зондах с передачей всей информации по радио. В дальнейшем аппаратура, поднимаемая на воздушных шарах, усложнялась и тяжелела. Приходилось использовать целые связки, состоящие из нескольких десятков шаров, аппаратура включала разнообразные детекторы и средства их обработки, а также автоматику, управлявшую программой измерений. Создавались целые летающие лаборатории, явившиеся прообразом тех автономных систем, которые сейчас широко используются на спутниках и межпланетных станциях. Программа включала два этапа. Во-первых, нужно было оценить природу первичных космических частиц: легкие или тяжелые, электроны или протоны? Во-вторых, каков знак заряда первичных космических частиц? Итак, что же нам шлет космос? Протоны? Электроны? Позитроны? А вдруг и антипротоны (в то время они еще не были открыты)?

По инициативе С.Н. Вернова в лаборатории космических лучей НИФИ-2 были созданы установки для измерения каскадов, создаваемых космическими частицами. Если первичное излучение состоит из электронов или позитронов, то, попадая на слой тяжелого вещества (например, свинца), оно вызовет появление электронно-фотонного каскада. Измеряя зависимость числа частиц от толщины слоя свинца, можно оценить энергию частиц, создающих каскад. Такие эксперименты были выполнены вскоре после войны с помощью установок, включающих сферические ионизационные камеры для измерения ионизационного эффекта, окруженные слоями свинца различной толщины. Во время полета свинцовые поглотители, изготовленные в виде полусфер, раскрывались и камера измеряла поток в свободном пространстве. Толщина свинца варьировалась от полета к полету, а измерения в открытом пространстве служили для нормировки результатов. Измерения обнаружили существование каскадного размножения частиц, но их энергия оказалась слишком малой, много меньше той, какую должны иметь первичные частицы на данной геомагнитной широте. Итак, первичные космические частицы имеют большую массу. Оставалось определить знак их заряда.

Как известно, магнитное поле Земли достаточно сильное. Оно отклоняет тяжелую магнитную стрелку компаса. Что же говорить об «элементарных» частицах? Они просто роем завиваются на его силовых линиях. Особенно

сильно влияет на заряженные частицы магнитное поле на экваторе. Вертикально падающие однозарядные частицы не могут достичь границы земной атмосферы, если их энергия меньше 15 ГэВ. Все такие частицы полностью отражаются обратно в космос независимо от того, положительный или отрицательный заряд они несут. Иначе обстоит дело для частиц, движущихся по направлениям, близким к горизонтали. Частица с положительным зарядом может приблизиться к Земле с запада, двигаясь по спиральной траектории со сравнительно малым радиусом кривизны, т. е. с небольшим импульсом. Расчеты показывают, что частице достаточно иметь импульс около 10 ГэВ/с, и она сможет достичь границы атмосферы. Эта энергия соответствует энергии ускорителя в Дубне. Иная картина для частиц с востока. Малый радиус кривизны невозможен, так как траектория в этом случае будет проходить через тело Земли и частица поглотится. Поэтому для нее единственный способ достигнуть нашего прибора с востока – это строго следовать вдоль поверхности земного шара. Таким образом, радиус кривизны должен быть больше радиуса Земли. А это требует энергии более 60 ГэВ, т. е. энергии ускорителя в Протвино, построенного лишь в 1967 году. В 1949 г., естественно, не было ускорителей ни в Дубне, ни в Серпухове.

Если первичные частицы заряжены положительно, то интенсивность с западного направления должна быть много больше, чем с восточного, так как частиц низких энергий в космическом излучении значительно больше, чем высокоэнергичных (интенсивность падает как E^{-15}). В глубине атмосферы эффект невелик: первичные частицы до уровня моря практически не доходят. На этом и была основана идея опыта – сравнить интенсивность космического излучения, приходящего с запада и востока, на экваторе и выяснить зарядовый состав первичного космического излучения.

По инициативе Сергея Николаевича и была снаряжена вторая советская экваториальная экспедиция 1949 года (первая была организована в 1937 году на танкере «Серго Орджоникидзе» для систематического исследования широтного эффекта первичных космических частиц). Следует вспомнить, что американский ученый Джонс уже пытался выполнить измерения интенсивности с запада и востока, но не обнаружил разницы. Однако его методика была несовершенной. Установка в полете вращалась нерегулярно, и направления путались. В нашем институте под руководством Сергея Николаевича была создана надежная аппаратура, строго фиксирующая ориентацию прибора в полете.

Для участия в этой экспедиции и пригласил меня А.А. Санин. Я должен был построить установку для регистрации сильноионизирующих частиц с помощью ионизационной камеры, так называемых «толчков» – всплесков ионизации, возникающих в результате расщепления ядер в стенках ионизационной камеры или прохождения через камеру частиц с повышенной ионизацией (медленных протонов или ядер). Трудность заключалась в том,

что необходимо было передавать по радио амплитуду сигнала. Задача решалась, как и теперь, путем трансформации амплитуды в длительность сигнала. Кто-то мне сказал, что метод был разработан А.Е. Чудаковым. Мой непосредственный научный руководитель предложил мне электронную схему. Я должен был смонтировать и наладить несколько таких приборов, а также сделать сферические ионизационные камеры и заставить их устойчиво работать в импульсном режиме.

Перед одним из семинаров я увидел в коридоре Долгопрудненской станции сидящего на окне молодого человека, постарше меня, но все же молодого. Я подошел к нему, догадываясь, что он тоже приехал на семинар. И действительно, мы быстро нашли общий язык. В ходе разговора он спросил меня, чем я занимаюсь, и я сказал ему, что делаю электронику для измерения ионизационных эффектов в стратосфере. «По методу Чудакова», – добавил я и вдруг увидел, что лицо сидящего передо мной человека заливается краской. Я догадался, что это и есть Чудаков. Главной задачей экспедиции было, безусловно, определение знака заряда первичного космического излучения. Этот крупный эксперимент сыграл важную роль не только в развитии науки в НИИЯФ МГУ, но, без всякого преувеличения, во всем мире. Несомненно, были и другие важные работы, но автору посчастливилось участвовать именно в этой.

Итак, прошло 46 лет со времени 2-й советской экваториальной экспедиции, во время которой исследовались космические лучи в стратосфере и вблизи границы атмосферы и был впервые надежно установлен знак заряда первичных космических частиц. Это был глобальный эксперимент. В том смысле, что анализирующим прибором был земной шар, точнее, его магнитное поле.

В конце апреля 1949 года участники экспедиции из НИФИ-2 и ФИАН собрались в Одессе на новеньком, «с иголочки» «Витязе» – первом корабле науки в СССР. Начальником экспедиции был профессор Н.А. Добротин. Проводить экспедицию приехал Сергей Николаевич.

Бушевала «холодная война». Америка, как обычно, грозила атомными бомбами. В этих условиях не следовало привлекать внимание к научной экспедиции, связанной с ядерными исследованиями. Мы были включены в состав команды. Помнится, Николай Алексеевич Добротин был зачислен буфетчиком, а автор – матросом 1-й статьи (доныне не знаю, что это значит). И вот скрылась «милая Одесса», и «шарик» оказался маленьким. Одно за другим проплывали за бортом экзотические места: Босфор, Стамбул, Мраморное и Эгейское моря, легендарные греческие острова. Средиземное море ослепительной синевы, и вдруг на горизонте зелено-белесая вода – Нил несет массу ила и мутит море на десятки километров. Суэцкий канал разочаровал – узкий, вроде канала Москва – Волга. Памятник Лессепсу (строителю канала) при входе. Теперь его не увидишь, разрушен после англо-израильской агрессии против Египта.

И вот он – Индийский океан. Шторм. Я и некоторые другие матросы 1-й статьи лежим. Но все проходит. Вот и экватор, можно потрогать. Грамота от Нептуна «крещен мною в соленой купели из вод Индийского океана». Подписана Нептуном («подпись удостоверена с приложением судовой печати»). Днем 30°, ночью 3°, вода 30°. Со стен течет. Матросы красят корабль, но пока проходят от бака до кормы, бак снова заржавел. Наши приборы заблаговременно выкупаны в смеси канифоли и воска и сырости не боятся.

С борта корабля на шарах-зондах поднимались в стратосферу установки, состоявшие из телескопа, наклоненного под углом 60°, и ориентирующей системы. С помощью фотоэлементов, реле и электромоторчиков телескоп все время был ориентирован в плоскости восток–запад. Ориентация осуществлялась по Солнцу, которое на экваторе движется в этой плоскости. Установка располагалась в пространстве так, что Солнце все время находилось между двумя фотоэлементами. Если корпус установки начинал вращаться, то луч солнца обязательно попадал на один из фотоэлементов и включал электромоторчик, который поворачивал установку до тех пор, пока положение не восстанавливалось. Через каждые несколько минут направление оси менялось с восточного на западное и обратно. Информация о темпе счета телескопа, высоте и ориентации телескопа непрерывно передавалась по радио на борт корабля и записывалась на бумажную ленту. Раннее утро в Индийском океане. Легкая пелена облаков. В этот час атмосфера наиболее спокойна, мало радиопомех. «Витязь» под четким руководством капитана П. Овчинникова легко движется точно со скоростью ветра, и на палубе полный штиль. Длинная гирлянда из десятков воздушных шаров до полутора метров диаметром каждый неподвижна и строго вертикальна. Установка уже подвешена на этой гирлянде, аппаратура включена, проверяется работа передатчика. Старт! Установка стремительно уходит вверх между мачтами. На ее корпусе белые и черные полосы. Соотношение белого и черного подобрано так, чтобы на большой высоте аппаратура не пострадала от перегрева или переохлаждения. Все участники экспедиции собрались в лаборатории, где стоит печатающее устройство. Барограф, укрепленный на установке, отсчитывает километры, приходят сигналы о переброске телескопа и сохранении правильной ориентации. Аппаратура работает нормально. Все с нетерпением вглядываются в широкую бумажную ленту. Уже на высоте 10 км чувствуется разница темпа счета с востока и с запада. Интенсивность с запада заметно больше, чем с востока. И вот она достигает предельного значения ($I_{\text{зап}} - I_{\text{вост}}$) ($I_{\text{зап}} + I_{\text{вост}} = 0,7$ ($I_{\text{зап, вост}}$ – интенсивность с запада и востока соответственно)). Итак, первичное космическое излучение заряжено положительно. В Москву Сергею Николаевичу полетела условная телеграмма.

После окончания МГУ Сергей Николаевич предложил мне остаться в аспирантуре и продолжить исследования широтного эффекта ядерных расщеплений в стратосфере. Фактически у меня уже был почти готов материал

для диссертации. Было выполнено несколько полетов на экваторе, в Японском море (с борта «Витязя») и под Москвой в Долгопрудном. Решено было еще провести измерения в Средней Азии в городе Ош (Киргизская ССР). Речь шла в основном об анализе результатов. Но по ряду причин мне пришлось прервать работу над диссертацией. В мае 1951 года Сергей Николаевич направил меня на работу в Капустин Яр, на космодром, известный в те времена под названием «Кап. Яр». На первых советских ракетах во время их испытательных полетов можно было выполнить измерения космического излучения до высот в 100 км. Одним из руководителей этой работы в «Кап. Яре» был А.И. Чудаков. Но в июле того же года я смог продолжить свою работу над диссертацией и отправился в Ош.

С осени, когда вновь начались семинары в Долгопрудном, моя работа обсуждалась там неоднократно и нелицеприятно. Критика сыпалась на меня со всех сторон, я едва находил аргументы в пользу своей позиции – одним из выводов было сохранение у протона после взаимодействия с ядрами атомов воздуха более половины начальной энергии (сейчас это называется эффектом лидирования). И наконец, Сергей Николаевич сказал мне: «Все, достаточно. Пишите».

Я начал писать работу, но, как оказалось, был не в состоянии остановиться. Мы регулярно встречались с Сергеем Николаевичем (происходило это большей частью у него дома в квартире, переоборудованной, как мне казалось, из чердачного помещения, под крышей старого дома на улице Горького), и он внимательно прочитывал мою писанину, обрушивая на меня целый каскад идей и замечаний и в то же время требуя, чтобы я закруглялся. А я, увлеченный его предложениями, так и этак обрабатывал результаты, строил тысячи разных графиков, и каждый шаг вызывал появление все новых вопросов. Не мог я остановиться, и все тут. Наконец терпение Сергея Николаевича лопнуло и он сказал мне: «Владимир Сергеевич (кстати, он почему-то называл меня по имени-отчеству, несмотря на мой юный возраст), даю вам еще двое суток. Послезавтра в 9 вечера вы ставите точку, даже если это случится посреди слова. Кончайте!» Темным зимним вечером на «чердаке» было свежо. Мы сидели, накинув на плечи пальто.

После защиты диссертации Сергей Николаевич позвал меня и спрашивает: «Какие у вас планы?» И, не дожидаясь моего ответа: «А не хотите ли поискать нейтральный мезон?» Речь шла о нейтральном мю-мезоне. В то время еще не было современной классификации частиц, и ниоткуда не следовало, что нейтрального мю-мезона не существует. Идея эксперимента была простой: нужно построить многослойную систему из газоразрядных счетчиков, расположив отдельные слои детекторов на различных глубинах под землей. Если включить на совпадения верхний и нижний слои и регистрировать картину в промежуточных слоях, то в некоторых случаях заряженный мю-мезон (так и хочется сказать мюон, но тогда такого названия еще не

было) после взаимодействия с ядром перезарядится в нейтральный и некоторые детекторы ничего не отметят. После повторного взаимодействия мю-мезон вновь станет заряженным и запустит установку. Может быть, нейтральный мезон проявит себя. «Достаточно вы повитали в заоблачных высотах, – сказал Сергей Николаевич, – спуститесь-ка под землю». Надо сказать, что шел 1954 год. На Ленинских горах уже взметнулось ввысь здание МГУ и был на подходе 20-й корпус с его подземной лабораторией. Я с удовольствием засел за расчеты, но, увы, очень скоро обнаружил, что при разумных размерах установки многократное рассеяние мю-мезонов будет выводить их из телесного угла и возвращать обратно, что будет приводить к появлению пропусков в слоях детекторов и имитировать нейтральные мю-мезоны. Увы, эксперимент не состоялся.

После этого случая на целый ряд лет мои прямые контакты с Сергеем Николаевичем прервались: я занялся созданием и наладкой первого и второго ионизационных калориметров, которые были построены на Памире. Первый вступил в строй 24 июля 1957 года. В том же году были получены и результаты, подтвердившие перспективность нового метода исследования адронов, фотонов и лептонов.

Но в конце 1957 года произошло событие, обозначившее наступление новой эры. В Советском Союзе был запущен первый спутник, а вскоре и второй и третий, на которых были получены научные результаты. Совершенно неожиданно для многих на высотах более 300 км был обнаружен гигантский всплеск интенсивности космического излучения. Наши установки зарегистрировали рост интенсивности в приполярных широтах, американские – у экватора. Если открытием считать обнаружение неожиданного природного явления, то этот результат определенно претендовал на открытие. Сергей Николаевич считал (и это проявлялось неоднократно), что в таких случаях нужно бросить все другие дела и заняться именно этим. Он привлек к работе многих, и вновь, как и в прежние времена, сравнительно узкий круг физиков стал регулярно встречаться для обсуждения проблемы повышенной интенсивности. На этот раз «семинары» проходили на квартире Александра Игнатьевича Лебединского в Главном здании МГУ, и опять обсуждения продолжались многие часы, но на этот раз бутерброды готовила жена Александра Игнатьевича.

Было ясно, что работает ловушка, существующая в магнитном поле Земли. Она была давно, еще с начала века, известна в теории. Ни одна частица, попавшая в нее, не может ее покинуть, но ни одна не может и попасть в нее. Классик сказал, что по этой причине ловушка пуста, и на протяжении десятилетий эта мысль кочевала из учебника в учебник. И вот теперь пришлось схватиться за голову: откуда же там частицы? Сергей Николаевич поручил мне рассчитать так называемый нейтронный механизм. Нейтроны, попадая в область ловушки, распадаются там на протоны и электроны, которые, буду-

чи не в состоянии выбраться оттуда, накапливаются и образуют зону повышенной радиации. Нейтроны могут достигать ловушки, приходя от Солнца (но таких сравнительно мало) или из земной атмосферы (так называемые «нейтроны альбедо»).

Сергей Николаевич объявил «конкурс» на название нового явления. Было много вариантов, но в конце концов было принято предложение Сергея Николаевича, и новое явление получило крещение под именем «земное корпускулярное излучение». Моя рабочая нагрузка удвоилась, никто не освобождал меня от работ с калориметром. Работа по альбедному механизму была очень объемной, а вычислительных машин не было. Все приходилось считать вручную, многочисленные интегралы, в том числе расходящиеся, приходилось вычислять по старым правилам, рисуя график функции и вычисляя площадь с помощью курвиметров. Сергей Николаевич буквально висел надо мной. И вот статья уже послана в печать, но без двух последних графиков: не считались те самые расходящиеся интегралы, но наконец все закончено. Можно перевести дух.

Хотя конечные результаты расчета альбедного механизма были опубликованы, сами детали расчета не вошли в статью. Я был занят другими делами, вскоре уехал в экспедицию на Арагац на несколько месяцев, и моя работа с Сергеем Николаевичем по земному корпускулярному излучению прервалась. А статью об альбедо я опубликовать так и не удосужился. И вот однажды, года два спустя, поздно вечером раздается звонок. Голос Сергея Николаевича, который ни с чьим спутать нельзя: «Владимир Сергеевич, вы видели публикацию по альбедо? А что у вас? Где ваша статья? Мне помнится, у вас результат другой. По-моему, у вас ошибка на порядок». Я должен был признаться, что публикации нет, и выслушал нелестную для меня тираду. Но черновики я случайно отыскал в ту же ночь и наутро принес Сергею Николаевичу. Мы вместе сравнили результаты, и я вздохнул с облегчением: они совпали.

К сожалению, в дальнейшем у меня уже не случались столь прямые научные контакты с Сергеем Николаевичем, я занялся высокими энергиями на ускорителях, но дружеское участие моего учителя Сергея Николаевича Вернова я ощущал всегда.

1995 год

ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В КОСМОСЕ (1947–1951)

В.И. Соловьева

Во второй половине 1940-х годов в Физическом институте им. П.Н. Лебедева АН СССР, который располагался в то время на Миуссах, в лаборатории космических лучей была создана немногочисленная группа сотрудников под руководством доктора физико-математических наук Сергея Николаевича Вернова, профессора кафедры ядра и радиоактивных излучений МГУ, заместителя директора НИФИ-2 МГУ, руководителя Долгопрудненской научной станции ФИАН. О работах этой группы было известно очень ограниченному кругу лиц, и только в 1958 г. в нашей печати появилось сообщение о выполненных ею экспериментах.

1 августа 1958 г. в газете «Правда» была напечатана редакционная статья, в которой сообщалось о первых экспериментах, проведенных в СССР по исследованию космических лучей за пределами атмосферы. В нескольких абзацах коротко говорится о работах, выполненных под руководством С.Н. Вернова и А.Е. Чудакова в течение 1947–1951 гг.

...Исследования с помощью ракет были начаты еще в 1947 г. Вначале с помощью специальных приборов – счетчиков Гейгера измерялось число заряженных частиц, исследовалось образование электронов и фотонов при взаимодействии первичных частиц, находящихся в космических лучах, с ядрами атомов легких элементов. В 1949 г. удалось получить данные об интенсивности фотонов за пределами атмосферы. Для этого была использована установка, предложенная А.Е. Чудаковым.

В 1951 г. измерена ионизация, создаваемая космическими лучами до высот в 100 километров. Для этой цели был предложен и разработан оригинальный высокоэффективный метод.

Серия таких исследований была выполнена А.Е. Чудаковым. В разработке необходимой для этого специальной электронной аппаратуры и системы радиопередачи участвовали П.В. Вакулов и В.А. Хволес. Измерение заряженных частиц выполнялось М.И. Фрадким, а измерение фотонов В.И. Соловьевой.

В середине 1940-х годов, как и в настоящее время, одной из важнейших проблем изучения космических лучей было исследование первичного космического излучения. Как известно, работы в этом направлении возглавлял

С.Н. Вернов, темы его кандидатской (1934) и докторской (1939) диссертаций тесно связаны с решением этой проблемы. В конце 1940-х годов уже были проведены измерения интенсивности космических лучей до 20–30 км над поверхностью Земли, но до границы атмосферы еще оставалось 10 г/см² вещества, и интенсивность первичных космических лучей определялась при помощи экстраполяции кривых высотного хода интенсивности к границе атмосферы. Для более полного исследования первичных космических лучей необходимо было вырваться за пределы атмосферы – в космос.

Огромная роль в решении вопросов, связанных с исследованием космоса, принадлежит С.И. Вавилову – директору Физического института АН СССР и президенту АН СССР. Еще во время войны ФИАН добивается проектирования и создания ракеты, которая поднималась бы на высоту до 40 км. Эта пороховая ракета была создана П.И. Ивановым – ведущим сотрудником лаборатории М.К. Тихонравова (Ленинград), одного из известных исследователей в области ракетной техники. И в 1946 г. в ФИАН организуется группа под руководством С.Н. Вернова, которая создает аппаратуру для исследования космических лучей на этой ракете. В 1946 г. состоялся пуск ракеты, но он прошел неудачно.

И снова вопрос об исследовании космических лучей за пределами атмосферы был поднят в связи с предстоящими в то время запусками баллистических ракет. В 1946 г. было принято постановление Правительства СССР о развертывании работ по ракетной технике в СССР. В январе 1947 г. в СССР прибыло из Германии несколько баллистических ракет ФАУ-2. В Подлипках – городке, расположенном недалеко от Москвы, – создается НИИ-88 – головной институт по ракетной технике. Сюда и прибыли ракеты ФАУ-2. Запуск ракет ФАУ в СССР был произведен на Государственном центральном полигоне (ГЦП) в 1947 г., а с весны 1948 г. уже создаются отечественные ракеты серии Р: Р-1, Р-2 и т. д. Ракеты поднимались на высоту 100–150 км, дальность полета составляла 200–300 км, время полета 5–6 мин.

Летом 1947 г. начались непосредственные контакты С.Н. Вернова и его группы с НИИ-88 и главным конструктором баллистических ракет дальнего действия С.П. Королевым. Первое впечатление от НИИ-88 оказалось неожиданным. Огромная территория, где располагались научно-исследовательские отделы, КБ и завод с горячими цехами и цеха для сборки и монтажа ракет, – все это поражало порядком и чистотой. Группа С.Н. Вернова начала готовить аппаратуру для экспериментов на баллистических ракетах. Все свое, автономное: датчики, системы питания, электроника, передающие и приемные антенны. Пункт приема информации был оборудован в фургоне, принятые сигналы записывались на киноплёнку. Вся аппаратура изготавливалась в мастерских ФИАН. Попытки сдать заказы в сторонние организации наталкивались на финансовые трудности и длительные сроки исполнения заказов. Времени катастрофически не хватало.

Наступил октябрь 1947 г. и день нашего отъезда на ГЦП. Вопрос, что брать с собой в экспедицию, был решен просто: упаковали почти все, что находилось в лаборатории. Естественно, багаж получился тяжелый и громоздкий. Когда мы прибыли на аэродром (а улетали мы с Центрального аэродрома на Ленинградском шоссе на грузовом самолете Ли-2), то летчики наотрез отказались брать весь багаж, и часть его пришлось оставить с нашим сотрудником. И все равно летчики уверяли, что при подъеме самолет чуть не задел какие-то служебные здания, аэродром-то тесный, а самолет перегружен. Желание увезти как можно больше было велико, казалось, все потребует немедленно. Оставшийся багаж прибыл через несколько дней.

Во главе с С.Н. Верновым мы прилетели в станицу Владимирскую и отправились на машине в городок на Волге – Капустин Яр, вблизи которого создавался Государственный центральный полигон для испытаний баллистических ракет. Поселились мы в степи в спецпоезде, который стал нашим домом на несколько недель. Вернее, не домом, а гостиницей, где мы только ночевали, а рабочее помещение находилось в нескольких километрах. Там размещались ангары с ракетами и наша «академическая» землянка. До стартовой площадки было 15 км.

Первые пуски ракет на ГЦП начались 18 октября 1947 г., а 2 ноября 1947 г. поднялась в космос баллистическая ракета для исследования космических лучей. Запуск был удачным. Впервые мы измерили интенсивность космических лучей за пределами атмосферы и получили ставшую теперь классической кривую изменения интенсивности с высотой: подъем кривой интенсивности до максимума на высоте от уровня моря около 20 км, затем спад примерно до половины максимума, и в районе 50 км выход на плато.

Начиная с этой экспедиции отсчет времени велся не по годам, а по запускам ракет: подготовка аппаратуры, полет, обработка результатов. И опять все сначала, и так в течение пяти лет.

В последующих запусках ракет кроме счетчиков Гейгера были использованы сферические ионизационные камеры. Для наполнения их химически чистым аргонном, пришлось налаживать связи с заводом, производящим его. Немало было хлопот с испытанием аппаратуры в Институте холода. Проводились испытания и в барокамере. Последняя была изготовлена в лаборатории из кислородного баллона со специальной заглушкой.

Коротко и сжато этот период работы С.Н. Вернова и его группы охарактеризован в сборнике статей «Проблемы физики космических лучей» (М.: Наука, 1987), посвященном памяти С.Н. Вернова.

...Только особым и в высшей степени целеустремленным стилем работы С.Н. Вернова можно объяснить тот факт, что небольшой группе удалось в течение 1947–1951 гг. участвовать в десятке успешных запусков ракет, создав для этого специальную телеметрическую аппа-

ратуру для передач и приемов за короткое время полета большого объема информации и решив многочисленные технические трудности размещения и эксплуатации на борту ракеты большого числа газоразрядных счетчиков, а также импульсных и интегрирующих ионизационных камер с соответствующей электроникой.

Программа исследований включала измерение интенсивности космических лучей на трассе полета (обнаружение постоянства интенсивности на высотах 50–100 км), поиск первичных γ -квантов в двух интервалах энергий – вблизи 1 и 100 МэВ (получен верхний предел интенсивности), измерение ионизирующей способности первичных космических лучей и др.

Отдельно следует сказать о попытке выяснения механизма образования электронно-фотонной компоненты первичными протонами, что особо интересовало Сергея Николаевича в то время. Для обнаружения электронно-фотонной компоненты использовался переходный эффект в полости с тонкой свинцовой оболочкой. В отличие от условий в стратосфере наблюдавшаяся в ракетном эксперименте электронно-фотонная компонента генерировалась не в воздухе, а в плотном веществе, что позволило С.Н. Вернову уже после первого эксперимента в 1947 г. сделать вывод о том, что время жизни частиц, распадающихся на электроны или фотоны, должно быть меньше 10^{-9} с. Если вспомнить о том, что это был год открытия и π^{\pm} -мезонов (а до открытия π^0 -мезона на ускорителях оставалось еще 4 года), то можно еще удивиться интуиции С.Н. Вернова.

В настоящее время на месте, где был произведен первый запуск баллистических ракет, на одной из которых полетели наши приборы, установлен памятный обелиск.

2000 год

С.Н. ВЕРНОВ И НАЧАЛО КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ

Ю.И. Логачев

Весной 1956 года я получил приглашение на свидание с Ю.Г. Шафером. Тема беседы по телефону обговорена не была, поэтому я был в некотором недоумении, что ждать от этой встречи. О Ю.Г. Шафере я знал, что это энергичный человек, берущийся за самые неожиданные проекты. Нужно сказать, что к этому времени я уже окончил аспирантуру (в 1955 году), получил некоторый экспериментальный материал по вариациям космических лучей на высотах полета самолета Ту-4 (аналог «летающая крепость» В-29). Аппаратура у меня была полностью автоматическая, летала без моего участия и работала достаточно стабильно. Вероятно, именно это обстоятельство (опыт создания надежной автоматической аппаратуры) и послужило причиной выбора меня в качестве участника работы, предложить которую поручили Ю.Г. Шаферу. Беседа велась от имени С.Н. Вернова, и предложение превзошло все мои ожидания: предлагалось через год создать прибор для установки на искусственном спутнике. Я согласился без малейших колебаний, хотя и понимал, что предстоит трудная работа, что прощай, диссертация, и вообще все «поперек». Отмечу, что все было ужасно засекречено, мне было выделено помещение за закрытыми дверями, все переговоры были секретны и т. д. За эту секретность мы потом поплатились, но об этом чуть позже.

Первая поездка в КБ к С.П. Королеву не произвела на меня никакого впечатления: практически никуда не пустили, в какой-то кабинет пришли конструкторы и поставили условие: вес прибора не более 2,5 кг, энергопотребление – 2 Вт, телеметрия – один «сухой» канал с высокой опросностью (50 Гц). «Сухой» канал – это значит, что на выходе прибора стоит реле и замыкает и размыкает контакт, на котором нет никакого напряжения. А телеметрия фиксирует время замыкания-размыкания. Прибор должен был работать в течение нескольких месяцев. Аналогичные «исходные» данные получили и другие участники работ. Планировалось запустить орбитальную лабораторию с большим набором приборов для исследования атмосферы, магнитного и электрического полей, ионосферы, космических лучей и рядом других приборов. Космическими лучами занималась еще группа Л.В. Курносовой. Они пытались померить потоки ядер Н, Ве и В в составе космических лучей, что для того времени было чрезвычайно важно. (Все перечисленные эксперименты были осуществлены на орбитальной лаборатории, запущенной в космос 15 мая 1958 г. на 3-м советском искусственном спутнике Земли.)

Тем не менее прибор нужно было делать. Состоялось совещание во главе с С.Н. Верновым, на котором была выбрана стратегия работ. Было решено, что детектором будет счетчик Гейгера и регистрироваться будет счет его импульсов, возникающих, как тогда предполагалось, только под действием частиц космических лучей.

Для регистрирующей электроники рассматривались три главные возможности – использование миниатюрных маломощных электронных ламп, безнакальных тиратронов (МТХ-90) и полупроводниковых элементов. Необходимо отметить, что полупроводниковая техника была еще в самом начале своего развития (1956) и нам была мало знакома, поэтому очень много усилий было затрачено на использование безнакальных тиратронов. Электронные лампы были отсеяны практически сразу, так как расчеты показывали, что их энергопотребление так велико, что в отведенные лимиты не уложиться ни при каких обстоятельствах. А на тиратронах МТХ-90 был собран макет прибора, удовлетворявший нас по весу и энергопотреблению, но оказавшийся совершенно непригодным из-за очень неустойчивой работы тиратронов. В приборе была использована пересчетная схема на 10–12 двоичных элементов, которая при изменении температуры после вибрации то работала, то нет: никакой стабильности. Как раз в это время отдел снабжения получил наконец долгожданные полупроводниковые триоды и диоды, и началась интереснейшая работа – на этих элементах собрать аналог ламповых пересчетов. И получилось. Практически ламповая схема, только вместо ламп – полупроводники. И хорошо работала, очень стабильно, в широком диапазоне температур, совершенно не боялась вибрации. И энергопотребление небольшое. Я вспоминаю, как мы обсуждали эту ситуацию с Сергеем Николаевичем. Никто из нас толком не понимал, как работает полупроводник. Было несколько страшновато доверять этой технике, но решились. Сергей Николаевич потребовал провести обширный цикл испытаний, регистрировать все отказы, найти границу температурного диапазона устойчивой работы. Дело в том, что при сильном уменьшении потребления мощности, т. е. при снижении токов через полупроводники, стабильность уменьшается. Был найден оптимум в системе стабильность–потребление. Одна пересчетная ячейка (триггер) потребляла около 1 мА при 6 В напряжения питания, т. е. вместе с усилителем линейка из 12 триггеров потребляла всего 0,1 Вт. Отметим, что разработанная в то время пересчетная ячейка использовалась потом в НИИЯФ на сотнях приборов в течение 20 лет или более и зарекомендовала себя с самой хорошей стороны. Даже сейчас можно найти эти пересчетные схемы, включить и убедиться, что они работают.

Отбросив сомнения, останавливаемся на полупроводниках. К этому времени Сергей Николаевич уже подключил к этой работе завод «Физприбор», на котором и были изготовлены первые приборы, получившие название КС-5: космический счетчик, пятый вариант. Первые четыре варианта (на

лампах, на тиратронах и т. д.) были отвергнуты по изложенным выше причинам. В качестве курьеза отметим, что самый первый вариант прибора был засекречен и его перевозки осуществлялись под вооруженной охраной. Ну и помучились мы тогда, да и потом, пока рассекречивали все остальные разработки.

В сентябре 1957 года приборы были практически готовы. Оставалось только провести испытания на длительность работы – и можно в полет. И вот 4 октября весь мир и мы в том числе узнали, что в СССР запущен первый спутник. Научных приборов на спутнике не было, 50 кг аккумуляторов и передатчик с постоянными «пи-пи-пи». Представляете наше возмущение и негодование Сергея Николаевича: мы имеем готовый прибор весом всего 2,5 кг, а спутник летит пустой, передавая бесполезное «пи-пи-пи».

После небольшого совещания решили попытаться получить более полную информацию о планах наших ракетчиков. И тут обнаружилось, что готовится еще один запуск с собакой на борту. К работам были подключены большие коллективы: медики-биологи во главе с О.Г. Газенко (ныне академик), физики-солнечники во главе с С.Л. Мандельштамом. После этого Сергей Николаевич «пробился» на прием к К.Д. Бушуеву – заместителю С.П. Королева, и мы с чертежами прибора двинулись в КБ в Подлипки. Пояснили ситуацию, важность наших намерений, надежность прибора и получили резолюцию-указание конструкторам: «Проработать». Сергей Николаевич очень обрадовался, но К.Д. Бушуев его несколько осадил: «Я сказал не “доработать” изделие, а “проработать” возможность установки прибора, а это большая разница. Вот когда конструкторы мне скажут, что техника допускает установку, мы пойдем к Сергею Павловичу и будем решать политический вопрос – устанавливать или нет». А до старта оставалось 3 недели. И здесь проявилась энергия Сергея Николаевича: он оседлал конструкторов, и уже через три дня техническое «добро» было получено. Визит к Сергею Павловичу проходил без меня, знаю только, что не сразу согласился С.П. Королев, но доводы, что радиацию нужно мерить для безопасности полетов, его убедили. Поступила команда доработать изделие, т. е. сделать места крепления прибора и подводку телеметрии. Питание прибора нам пришлось устанавливать автономно. Это были аккумуляторы, применяемые сейчас для карманных фонарей, напряжение 6 В, емкости хватало на месяц полета. Отметим, что питание газоразрядного счетчика осуществлялось от этих же батарей, через преобразователь 6В-400В, изготовленный по нашей просьбе во ВНИИТе, в лаборатории моего сокурсника А.П. Ландсмана.

Итог: прибор установлен, а главный конструктор ознакомлен с понятием «проникающая радиация» и ее воздействием на организмы и технику, что в значительной степени определило дальнейшие направления космических исследований в НИИЯФ МГУ: радиометрические измерения (И.А. Савенко), разработка и использование дозиметров (М.В. Тельцов), испытания различных материалов (А.И. Акишин).

В конце октября 1957 года подготовили два одинаковых прибора КС-5, приспособленных для установки на предполагаемом «изделии», и поехали с ними на полигон. Участники этого эксперимента – С.Н. Вернов, Н.Л. Григоров, А.Е. Чудаков и автор настоящих воспоминаний. Самолет Ту-104, спецрейс Москва–Ташкент. Из Ташкента на маленьких самолетах Ли-2 и Ил-14 все пассажиры Ту-104 перелетели на полигон. В гостинице, одноэтажном деревянном бараке, нашей команде была выделена целая отдельная комната. В монтажно-испытательном корпусе – тоже комната, где мы разместили наше хозяйство и проводили все проверки и доработки приборов. Здесь также сказалась настойчивость и дальновидность Сергея Николаевича, он предчувствовал, что нам предстоит большая работа, и располагаться в общем зале, как все остальные участники запуска спутника, было не очень удобно.

Как вы помните, в Москве было принято решение доработать «изделие», и эта доработка осуществлялась прямо на полигоне, в монтажно-испытательном корпусе, и мы имели возможность участвовать в этой доработке. Наш прибор был установлен в двигательном отсеке ракеты, и мы увидели, что места в этом отсеке вполне достаточно, чтобы установить не один, а два наших прибора. Вы представляете себе реакцию Сергея Николаевича на это «открытие»? Не прошло и суток, как было получено разрешение на установку двух приборов. Но оставался вопрос подключения их к одному телеметрическому каналу, к «сухому» контакту. Здесь свое слово сказал А.Е. Чудаков, предложивший схему, обеспечивающую подключение двух счетчиков к одному каналу. Мне не хочется сейчас входить в технические подробности этой схемы. Скажу только, что схема требовала согласования времен срабатывания выходных реле наших приборов, нужно было подобрать сопротивления и конденсаторы, все спаять и проверить. И все это было сделано прямо на полигоне, приборы установлены и отлично сработали. И никакой военной приемки. Отметим еще раз, что это были первые приборы, запущенные на земную орбиту, выполненные целиком на полупроводниках. До нас никто на полупроводниках в космосе не работал.

Бытовая зарисовка: как я уже говорил, вся наша команда жила в одной комнате общежития-гостиницы. Работали мы много, но не круглые сутки, поэтому какую-то часть времени находились вместе в нерабочей обстановке. И здесь меня поразило то, что и Сергей Николаевич, и его младшие коллеги между собой говорили все время о науке и только о науке. Речь шла и об экспериментах Чудакова на ракетах, и о сети нейтронных мониторов, которая в то время создавалась, и о результатах А.Н. Чарахчяна. Помню, что мне иногда удавалось свернуть их на спортивные игры (шашки, шахматы), но это бывало очень редко. А играть в шахматы с Сергеем Николаевичем было очень трудно, он никак не решался сделать очередной ход, все размышлял. Однажды я спросил его, почему он так «тянет». «Я так долго ду-

маю потому, что не люблю делать слабые ходы», – ответил Сергей Николаевич. По-моему, это его свойство проявлялось и в жизни, и в руководстве институтом. Однажды я предложил игру-ловушку, где надо знать секрет или найти его в ходе игры. У моих партнеров это никак не получалось, все отступились, кроме Сергея Николаевича, а Чудаков даже сказал в сердцах: «Нечего тратить мозги на всякие фокусы». На том и прекратили. А однажды в разговоре по душам Наум Леонидович Григоров сказал, что ему ужасно жалко людей, которые не влюблены в физику: они же прозябают, а не живут. Интересно пожить вместе с умными людьми хотя бы неделю. Как раз неделя и прошла, и пришло время старта. Здесь есть еще одно воспоминание, но уже о С.П. Королеве. Дело в том, что наши приборы были установлены около двигателей и к ним был доступ только с монтажной площадки. Было решено, что мы включим приборы в самый последний момент перед стартом, чтобы экономить свои батареи, и эта миссия выпала мне. А чтобы проверить, включились ли приборы, я подносил радиоактивный источник и слушал, щелкают ли выходные реле. Дожидаясь момента, когда нужно было включать приборы, я с источником на длинном прутке прохаживался по железнодорожным путям на площадке, с которой устанавливается ракета. А по соседним путям также прохаживался какой-то человек в авиашлеме и меховой куртке. Была ночь, было холодно, я мерз и с нетерпением ждал, когда, как мне покажется, можно включить приборы и уйти. Вдруг мой коллега по прогулке у стартовой площадки поманил меня пальцем и спросил, что я здесь делаю. Я объяснил. «Вы что, не знаете, что здесь могу находиться только я? Идите в бункер, вас позовут, когда надо будет делать эту работу». Это был Сергей Павлович. Оказывается, это действительно была привилегия Сергея Павловича, он всегда перед стартом уединялся на этом месте, и мешать ему было нельзя: «Бригадир процентовку обдумывает».

Я не пошел в бункер, а незаметно прошел к ракете (какие были времена!), включил приборы и только тогда ушел на смотровую площадку. А в это время ракета заправлялась жидким кислородом, сверху падали снежные хлопья, и все было непревзойденно экзотично. Картина старта неописуемо великолепна: спутник рождается из дыма и пламени под страшный грохот двигателей. Сначала дым, потом пламя, и показался нос ракеты – крики «пошла, ура!» и т. д. А потом необыкновенное зрелище разделения ступеней: сразу пять факелов, удаляющихся друг от друга, сияющий крест в ночном небе и наконец один удаляющийся факел от двигателей центральной ступени. Тем не менее во время этих операций я, видимо, простудился, на следующий день сильно заболело горло и поднялась температура. Сергей Николаевич призвал на помощь медиков, тех, что готовили эксперимент с собакой Лайкой. Один из них оказался О.Г. Газенко. Чем он меня пичкал, я не знаю, но, во всяком случае, домой я полетел с ним, а не со своими, чтобы Газенко мог наблюдать меня в дороге. Мы летели до Куйбышева, а потом

ехали поездом. Отмечу, что компания медиков была прямой противоположностью нашей: они выпивали, играли в преферанс и вели общечеловеческие разговоры.

Наутро 3 ноября 1957 года все газеты и радио сообщили о том, что в СССР запущен второй искусственный спутник с собакой Лайкой на борту и еще некоторыми научными приборами. Фото Лайки до сих пор можно видеть на одноименных сигаретах, а научные достижения помнят лишь немногие. Лайка жила столько же, сколько и наш прибор, пока не кончилась энергия батарей, т. е. около десяти дней.

Затем был период приема информации и ее обработка. Все это делалось без нашего участия силами военных. К сожалению, информация с этого спутника поступала только тогда, когда спутник пролетал над территорией СССР, т. е. в области перигея орбиты (250–500 км), а там, где спутник уходил на большие высоты (высота апогея около 1200 км) наших приемных пунктов не было, а другие страны эту информацию принимать не могли, система телеметрии и длины волн были засекречены: сигнал уходил в никуда. Но полученная информация для нас была крайне интересна: ведь на этих высотах на таком большом интервале широт и долгот никто еще измерений космических лучей не проводил. Приборы работали отлично. Измеренный поток частиц оказался близким к ожидаемому. Были построены изокосмы космических лучей (линии равных потоков), определен высотный ход в интервале 300–700 км, который хорошо объяснялся экранировкой Земли и уменьшением геомагнитного обрезания с увеличением высоты. Правда, в районе 700 км наши точки показывали тенденцию к большему возрастанию, чем ожидалось по теории, но мы не придали этому значения. Как теперь ясно, это превышение было обусловлено частицами радиационных поясов, которые над территорией СССР только-только начинают проявляться на этих высотах. В Южном полушарии на этих же высотах, а тем более там, где летал спутник, потоки частиц радиационных поясов уже во много раз превышали потоки галактических космических лучей, но так как там от нашего спутника информации не было, то и узнали мы об этом только в 1958 г., после полетов американских «Эксплореров» и нашего третьего спутника. Но об этом чуть позже.

На одном из витков 7 ноября 1957 года наши счетчики зарегистрировали необычное поведение скорости счета. Наблюдались резкие флуктуации, значительно большее возрастание скорости счета на высоких широтах, чем ожидалось по широтному эффекту. Это было выпадение частиц из внешнего радиационного пояса в связи со слабым магнитным возмущением. К сожалению, в то время эти понятия не входили в круг наших знаний, и мы интерпретировали наблюдаемый эффект в терминах солнечных частиц, вторгшихся в атмосферу Земли. Когда мы учились на физфаке, мы – ядерщики – всегда немного иронизировали над геофизиками, не принимали всерьез их

науку и в результате не среагировали на интереснейшее явление. Но что было, то было. Несмотря на то что мы первые зарегистрировали частицы радиационных поясов Земли, первым понял это явление Ван Аллен.

Нам досталось после него обнаружить внешний радиационный пояс, в то время как внутренний пояс, а следовательно, и само явление были обнаружены при полетах американских спутников «Эксплорер-1, 3» в февралемарте 1958 г. Ван Алленом. Он правильно интерпретировал свои результаты (а у него счетчики замолчали – «захлебнулись» из-за очень высокой интенсивности). Об открытом им явлении Ван Аллен сделал сообщение в Академии наук США 1 мая 1958 г. Наш 3-й советский ИСЗ, отчетливо и всесторонне регистрировавший частицы радиационных поясов, был запущен только 15 мая. Спутники США имели наклонение орбиты около 33 градусов к экватору, это означает, что на некоторых витках эти спутники достигали максимальной геомагнитной широты, равной только 44 градусам. Как выяснилось позже, на геомагнитных широтах 45–50 градусов лежит граница между внутренним и внешним радиационными поясами. Наш спутник, запущенный 15 мая 1958 года, имел наклонение 65 градусов и, следовательно, почти на каждом витке попадал в области внешнего пояса, который и был нами зарегистрирован.

Здесь нужно сказать, что по результатам 2-го спутника мы поняли, что в возрастаниях 7 ноября приборы кроме космических лучей регистрировали не протоны или электроны (средняя толщина экрана – стенки ракеты и нашего прибора – составляла несколько г/см², и через эту защиту могли проникнуть только достаточно энергичные частицы), а тормозное излучение электронов (с очень малой эффективностью). Поэтому на 3-м спутнике был установлен прибор со сцинтилляционным счетчиком с достаточно большим (40 × 40 мм) кристаллом NaI(Tl), который мог регистрировать не только протоны и электроны, но и их тормозное излучение с высокой эффективностью. Этот прибор при настойчивом давлении Сергея Николаевича в сжатые сроки был сконструирован и изготовлен А.Е. Чудаковым, который привлек к этой работе своего сотрудника из ФИАН П.В. Вакулова. Так как работа велась практически вдогонку далеко продвинутого 3-го спутника, требовалось преодолеть массу препятствий по установке и подключению прибора, который был значительно больше и тяжелее КС-5. Новый прибор удалось поставить на наружной обшивке спутника, а для передачи информации использовать тот самый передатчик «Маяк», который на первом спутнике делал только «пи-пи-пи». Именно это включение обеспечило успех нашего эксперимента на 3-м спутнике. Дело в том, что «Маяк» могли принимать все станции мира, все любительские приемники. Они принимали эту информацию и записи передавали нам. Так были получены данные почти над всей поверхностью земного шара, в том числе и из Южного полушария. Информации было так много, что пришлось для ее обработки привлекать новых

сотрудников, наибольшее участие в обработке принимал Е.В. Горчаков. Так и определился круг основных участников этого эксперимента: С.Н. Вернов, А.Е. Чудаков, П.В. Вакулов, Е.В. Горчаков и я. Стало ясно, что наши результаты дают четкое разграничение внутреннего и внешнего пояса: во внутреннем основную энергию несут потоки протонов с энергией более 100 МэВ, во внешнем – электронов с энергией более 100 кэВ. Схема включения нашего прибора, предложенная А.Е. Чудаковым, позволяла определять энергию, приходящуюся на одну частицу. Так как в тех областях, где расположен внешний пояс, до нас никто не летал, мы сочли возможным зафиксировать факт открытия внешнего радиационного пояса Земли. Авторы – перечисленные выше пять человек, диплом № 23 с приоритетом от июня 1958 г. (дата доклада о результатах эксперимента на сессии геофизического союза в Москве).

В конце 1958 года в СССР три раза безуспешно пытались послать ракету к Луне. Это удалось только с четвертой попытки, 2 января 1959 года. Наши приборы сработали отлично, пояс был пересечен насквозь от Земли до самых внешних областей, а потом приборы более суток регистрировали и стабильные потоки космических лучей.

За все эти работы С.Н. Вернов и А.Е. Чудаков были удостоены Ленинской премии (1960).

Этот этап можно рассматривать как становление космофизики в НИИЯФ МГУ. Начиная с этих запусков, С.Н. Вернов значительную часть своих усилий посвятил созданию в институте новых лабораторий. В 1958 году, сразу после запуска 3-го советского спутника, организуется опытно-конструкторская лаборатория, занимавшаяся подготовкой экспериментов при полетах лунных станций. Заведующим этой лабораторией стал А.Г. Николаев, которого Сергей Николаевич перевел из ОКБ МЭИ. Спустя несколько лет эта лаборатория выросла в мощное образование с большим числом научных сотрудников (Ю.И. Логачев, П.В. Вакулов, Е.В. Горчаков, Э.Н. Сосновец, С.Н. Кузнецов, В.Г. Столповский и ряд других). Именно этот коллектив впоследствии осуществил эксперименты на спутниках «Электрон», на которых были проведены обширные исследования радиационных поясов Земли. Естественно, что такую большую работу нельзя было провести без сильной группы электронщиков, которую возглавил И.А. Рубинштейн. Спутники «Электрон» – это эпопея в исследовании радиационных поясов. Они были задуманы С.Н. Верновым сразу после полетов лунных станций, когда крупномасштабная картина строения поясов стала достаточно ясной. С.Н. Вернов и А.Е. Чудаков для всестороннего исследования внутреннего и внешнего поясов предложили запускать сразу два спутника, ибо никакая траектория только одного спутника этой задачи не решала. Большой авторитет С.Н. Вернова и важность задачи сыграли свою роль, и конструкторы приняли этот проект к разработке. Он был осуществлен в 1964 г. (январь – спут-

ники «Электрон-1, 2», июнь – «Электрон-3, 4»). На этих спутниках был установлен большой набор аппаратуры для исследования внутреннего и внешнего радиационных поясов. В качестве детекторов здесь использовались газоразрядные, сцинтилляционные и впервые в нашей практике полупроводниковые счетчики. Эти приборы, общее число которых превышало 20, сработали отлично, была получена огромная информация, обработка которой заняла несколько лет. По результатам этих экспериментов было защищено несколько диссертаций и дипломных работ.

Как уже упоминалось, работы в НИИЯФ МГУ на лунных станциях и спутниках «Электрон» велись коллективом опытно-конструкторской лаборатории. Ее руководитель А.Г. Николаев внес существенный вклад в серийное создание космических приборов. Он пригласил в НИИЯФ очень грамотного конструктора В.Я. Ширяеву, разработки которой используются и в настоящее время. А.Г. Николаев и В.Я. Ширяева создали универсальную электронную плату, их набор мог компоноваться в целевую линейку, обеспечивающую регистрацию того или иного исследуемого параметра. Эти линейки и платы перестали использоваться в НИИЯФ всего несколько лет назад, все главные эксперименты в НИИЯФ, начиная с 1965 г., были проведены с их помощью. Даже сейчас на орбите Земли есть приборы, укомплектованные этими платами. Это была целая эпоха в создании приборов, и НИИЯФ МГУ был здесь в числе передовых.

К 1960 году выяснилась необходимость дозиметрических работ, и в НИИЯФ образовалась лаборатория ЛКФИ под руководством И.А. Савенко, куда со временем пришли многие теперешние ученые, специалисты по космической физике: П.И. Шаврин, Н.Ф. Писаренко, Л.Ф. Калинин, В.Е. Нестеров и др. Со временем П.И. Шаврин выделился в отдельную лабораторию, дозиметрию стал делать М.В. Тельцов. После ряда перестановок сохранились две крупные лаборатории, теперь отделы: ОКЛ превратился в ОТПКФ под руководством Б.А. Тверского, а ЛКФИ – в ОКФИ под руководством М.И. Панасюка. Небольшая часть сотрудников из ОКФИ образовала новый отдел (ОКИ) под руководством В.Я. Шестопова. В 1982 г. Сергея Николаевича Вернова не стало среди нас. Однако созданная им школа космофизиков, насчитывающая два десятка крепких исследователей, смогла уже самостоятельно проводить сложные исследования. Роль Сергея Николаевича в реализации этих работ до сих пор остается значительной, ибо многие традиции, им заложенные, продолжают действовать.

1995 год

СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕРНОВ, КАК ЧЕЛОВЕК, УЧЕНЫЙ, УЧИТЕЛЬ И ОРГАНИЗАТОР НАУКИ

Л.И. Дорман

На моем долгом пути в науке (около 60 лет) мне посчастливилось встретиться и сотрудничать с рядом выдающихся ученых. Одним из наиболее блестящих ученых был академик Сергей Николаевич Вернов. В течение многих лет, начиная с 1955 г. и вплоть до кончины, я был его заместителем по секции космических лучей и радиационных поясов при Геофизическом комитете АН СССР. Я хорошо помню, что в те годы научно-организационная активность обычных людей оценивалась в единицах милли-Вернов.

Я должен сразу же подчеркнуть, что наука о вариациях космических лучей и радиационных поясах в Советском Союзе была в значительной степени основана и бурно развивалась именно благодаря исключительным качествам Сергея Николаевича, как человека, как ученого и как организатора науки. Эти качества Сергея Николаевича мне посчастливилось оценить практически сразу же после окончания ядерного отделения физического факультета МГУ в декабре 1950 г., когда возникли, казалось бы, непреодолимые проблемы с распределением на работу и в течение нескольких лет после этого. Чтобы понять это и обстановку в стране, которая тогда была, я должен начать свой рассказ с моих студенческих лет.

В сентябре 1947 г. (начало 3-го курса) я должен был сделать важный выбор: на какую пойти специальность. Я хотел только на ядерную физику, шансов у меня совершенно не было, хотя это была моя давнишняя, заветная мечта. К сожалению, на ядерную физику отбирали прежде всего по анкетным данным. Нас строго предупредили, что для этой специальности должен быть оформлен допуск к документам с грифом «совершенно секретно». Поэтому анкета должна быть абсолютно чистой: никого из родственников за границей, никакой переписки с заграницей, родители не лишались избирательных прав, родственники не были на оккупированной территории и не репрессировались. Анкеты заполнялись примерно за полгода до официального распределения по специальностям. Хотя я четко понимал, что у меня нет никаких реальных шансов попасть на ядерную физику, все-таки анкеты я заполнил и стал ждать. Проблема осложнялась еще тем, что мой родной брат Зусь, прошедший всю войну и окончивший ее капитаном, был тогда на несекретной работе, и он в своих анкетах все написал о нашем

старшем брате Аврумеле (что его в 1925 году мамыны родственники увезли в Палестину) и о папе (что он был лишен избирательных прав как служитель культа – он был шойхетом-раввином). Нас письменно предупредили, что сокрытие или искажение анкетных данных считается политическим преступлением, и каждый под этим расписался.

На ядерное отделение дали 200 вакансий, из них на теоретическую ядерную физику всего 7. Поскольку я очень увлекался также математикой, я решил (если пройду по анкетным данным) подавать на теоретическую ядерную физику, хотя конкурс на эту специальность был очень большой. Анкеты я сделал чистыми, про Аврумеля ничего не написал, а про папу не написал, что он был лишен избирательных прав. Оставался один серьезный «недостаток» – моя национальность, но я в душе надеялся, что мои успехи в учебе и способности, отмечавшиеся профессорами, перевесят этот «недостаток».

Анкеты я сдал в сентябре 1947 г. и стал ждать, что будет. В начале 1948 года мы должны были окончательно выбрать специальность. На мои анкеты никакого ответа не пришло, и я вынужден был подать на какую-то специальность вне ядерного отделения (мне было очень обидно, я так рисковал, а оказалось зря). Я был круглый отличник, общественник и имел шансы выбрать любую специальность (даже ту, на которую был большой конкурс). Самый большой конкурс был на кафедре математической физики, куда я был приглашен заведующим кафедрой академиком А.Н. Тихоновым. Я подал туда заявление, прошел конкурс, и меня приняли.

Примерно через месяц после начала весеннего семестра пришла открытка домой, в которой меня просят срочно явиться в деканат в связи с моими анкетами для ядерного отделения. К назначенному времени я явился. В деканате меня проводили в отдельную комнату, где сидел полковник КГБ. Я был совершенно спокоен, готов ко всему. Он начал издаека, о значении ядерной физики, о большом внимании, оказываемом партией, правительством и лично И.В. Сталиным этой науке. Я никак не мог понять, к чему он клонит. И вдруг он добавил, что допуск к совершенно секретной работе на меня запоздал по техническим причинам, но сейчас все в порядке и он приглашает меня уйти с кафедры математической физики и поступить на ядерное отделение; как круглому отличнику мне будет предоставлено право выбрать любую специальность на этом отделении и сразу же будет дана повышенная стипендия (почти в два раза больше, чем на кафедре математической физики). Счастью моему не было предела: ведь почти три года я мог изучать мою любимую ядерную физику, слушать лекции выдающихся ученых-ядерщиков.

Я с головой ушел в учебу, увлекся теорией элементарных частиц, выполнил две дипломные работы (у профессора Д.И. Блохинцева – автора известного учебника «Квантовая механика» и у академика Н.Н. Боголюбова).

В июне 1949 года, в конце 4-го курса состоялся госэкзамен по физике. Все лихорадочно готовили шпаргалки, а мне лень было это делать, да и не хотелось терять на это время (я уже увлекся работой над дипломным проектом). Я взял большой чемодан, напихал туда все книги по физике и пошел на госэкзамен. Пришел я за полчаса до начала, выбрал подходящую парту и запихал туда все книги, а пустой чемодан оставил в коридоре. Вытащив билет с вопросами, пошел готовиться. Нашел нужную книгу и стал из-под парты списывать. Вдруг раздался громовой голос профессора Л.В. Грошева (он вел у нас курс радиоэлектроники в ядерной физике): «Студент Дорман, что вы как мелкий воришка списываете исподтишка? А ну-ка, положите книгу на парту и списывайте открыто, но знайте, все равно вам это не поможет!» Я оторопел от неожиданности, но так и сделал. Подготовив ответы на все вопросы, я решил пойти сдавать экзамен к своему руководителю дипломного проекта (как это делали все), но Д.И. Блохинцев сказал, что после такого замечания неудобно идти к нему, надо идти к Л.В. Грошеву. Л.В. Грошев гонял меня более двух часов и все-таки поставил «отлично». Более того, он предложил мне после окончания МГУ пойти работать к нему на кафедру. Впоследствии мы с ним подружились (хотя на его кафедру я не пошел), и он всегда нам очень помогал советами по развитию эксперимента.

Окончил я МГУ в декабре 1950 г. с красным дипломом и тут впервые встретился с дискриминацией по национальному признаку. Дело в том, что Д.И. Блохинцев пригласил меня к себе в аспирантуру на свой «объект», где разрабатывалось и создавалось атомное оружие. Он был руководителем «объекта», тем не менее КГБ не дал ему разрешения взять меня в аспирантуру.

Все мои друзья довольно быстро были распределены на «объекты», отшумели веселые проводы, а меня и еще девять ядерщиков из Москвы и Ленинграда долго не могли никуда распределить, и мы опасались, что вообще останемся без работы по специальности. Через какое-то время нас наконец-то распределили в группу по космическим лучам (в то время космические лучи как раздел ядерной физики был тоже совершенно секретным). Меня распределили в «Главсевморпуть» для работы по космическим лучам на полярной станции бухта Тихая (архипелаг Земля Франца-Иосифа в Северном Ледовитом океане).

На стажировку нас всех направили в начале 1951 г. в Институт земного магнетизма, где была создана Лаборатория космических лучей. В Институте земного магнетизма нам читали дополнительные лекции по космическим лучам, геофизике, физике Солнца. Было очень интересно и весело. Мы все жили в общежитии в чудесном лесу недалеко от реки, много занимались спортом, были счастливы.

Летом 1951 г. я заинтересовался проблемой вариаций космических лучей и построил впервые в мире полную теорию метеорологических эффектов мюонной компоненты космических лучей (она до сих пор используется

космическими для исправления данных наблюдений). Но ее засекретили и не разрешили публиковать (я опубликовал ее очень кратко только в 1954 г., а полностью в 1957 г.). Я стал интересоваться также экспериментом и впервые составил полный перечень возможных неисправностей и способов их устранения при работе ионизационной камеры космических лучей (эту работу тоже засекретили).

В конце лета 1951 г. у нас закончилась стажировка, и мы должны были разъехаться по разным станциям космических лучей. Однако на меня не пришел новый допуск к совершенно секретной работе, так что мое направление на Землю Франца-Иосифа в Северном Ледовитом океане аннулировали, и я был уволен из «Главсевморпути». Но безработным я был недолго. Благодаря помощи Сергея Николаевича Вернова меня приняли на работу в Институт земного магнетизма. Как выяснилось впоследствии, именно Сергей Николаевич и директор Института земного магнетизма Николай Васильевич Пушков организовали специальный правительственный проект по исследованиям космических лучей с привлечением студентов-ядерщиков, не допущенных КГБ для работы на «объектах»; если бы не этот проект, все окончившие вузы евреи студенты-ядерщики оказались бы без работы по специальности.

В Институте земного магнетизма мы не только слушали лекции по геофизике, но также занимались экспериментом. Дело в том, что мы дежурили круглосуточно и каждый час записывали значения счетчиков космических лучей. Мне было лень это делать, тем более ночью, когда очень хотелось спать. Тогда я своими руками (благо был большой опыт работы токарем и слесарем во время войны в 1942–1943 гг. в Магнитогорске) создал автоматический фоторегистратор для записи данных космических лучей. Создал также мюонный скрещенный телескоп на 100 электронных лампах. Но главное – это продолжение работы над теорией метеорологических эффектов космических лучей. Я подготовил две свои первые статьи в престижный журнал «Доклады Академии наук СССР», которые были представлены академиком Д.В. Скобельцыным. Однако почти три года ушло, чтобы в Институте земного магнетизма, а затем в Главлите пробить разрешение на публикацию их в открытой печати, и они были напечатаны только в 1954 г.

Вообще 1951 г. был очень продуктивным, у меня было много энергии, хватало на теорию, на эксперимент, на спорт. Организовал научный семинар по вариациям космических лучей и руководил им. Кроме того, с 1 сентября 1951 г. я стал еще работать учителем в Красно-Пахорской вечерней школе (каждый день по 6 уроков после работы в институте). Преподавал физику, математику, астрономию, а через несколько месяцев и немецкий язык (учительница ушла в декретный отпуск, который вместо двух месяцев длился больше года) в 8–10-х классах. Дело в том, что материальное положение нашей семьи тогда было очень тяжелым. Я как младший научный сотрудник

получал всего 800 руб. в месяц (соответствует 80 руб. после реформы 1961 г.), папа и мама уже не работали и никакой пенсии не получали. В школе я получал дополнительно 1000 руб., и нам стало хватать на скромную жизнь.

Мои успехи в работе не остались незамеченными: появились недруги, занимавшие высокие посты в институте. Они узнали, что обычно днем я выкраиваю около часа, чтобы поспать (эта привычка у меня еще с детского сада, а ночью я вставал, чтобы несколько часов поработать). Однажды они уловили момент, когда я действительно спал на работе днем, и позвали директора Н.В. Пушкиова.

На следующий день появился приказ «За плохую работу, систематические нарушения дисциплины (подготовка к занятиям в школе, а также сон во время работы) и за работу в вечерней средней школе без соответствующего разрешения, уволить младшего научного сотрудника Л.И. Дормана с работы». Мне дали расписаться и отобрали пропуск. Это произошло за несколько дней до праздника 7–8 ноября 1951 г. Н.В. Пушкиов был настолько сердит на меня (он только недавно зачислил меня на работу по настоятельной просьбе С.Н. Вернова, а я на работе якобы ничего не делал – только готовился к занятиям в школе или спал), что наотрез отказался меня принять и выслушать мои объяснения.

Я поехал к Е.Л. Фейнбергу и С.Н. Вернову, попросил их организовать семинар с моим докладом о работе с приглашением директора нашего института и ученых-космиков из Физического института Академии наук СССР имени П.Н. Лебедева (ФИАН) и из Московского университета. Надо отдать должное Сергею Николаевичу: именно он срочно приехал в институт для встречи с Н.В. Пушкиовым.

В результате Н.В. Пушкиов временно приостановил действие приказа о моем увольнении и назначил семинар с моим докладом. Я тщательно подготовился, настроение было боевое. Мне потом все говорили, что доклад был блестящим. Теория и эксперимент. Ряд фундаментальных результатов получил высокую оценку (они были потом опубликованы в научных журналах, вошли в мою первую книгу и стали классическими). У Н.В. Пушкиова открылись глаза. Он понял, что меня оклеветали мои недоброжелатели – научные карьеристы. Приказ о моем увольнении был отменен.

В январе 1953 г. в институт приехал Юрий Георгиевич Шафер и предложил мне поступить в целевую аспирантуру ФИАН к Е.Л. Фейнбергу с тем, чтобы потом поехать работать в Якутск. Я с радостью согласился, поскольку очень хотел, чтобы руководителем диссертации был такой замечательный ученый, как Евгений Львович Фейнберг. Я сдал все экзамены на «отлично», но тем не менее Управление кадров Академии наук СССР мою кандидатуру не утвердило без какой-либо мотивировки. Так я опять столкнулся с проявлением государственного антисемитизма. Я был возмущен до глубины души, но жаловаться было бесполезно.

Тогда я решил подготовить диссертацию самостоятельно. Я увлекся работой, было безумно интересно раскрывать природу разных обнаруженных экспериментально явлений, разработал новый метод функций связи, предложил математическую процедуру, позволяющую использовать нашу планету как огромный магнитный спектрометр космических лучей. В результате предложенных мной методов все минусы наблюдений превратились в очень важные плюсы. Например, земная атмосфера из большой помехи для наблюдений превращалась в инструмент для определения зависимости вариаций космических лучей от энергии первичных частиц. Более того, я показал, что тяжелые приборы для наблюдений космических лучей высокой энергии весом в десятки тысяч килограммов можно как бы выносить в открытый космос без всяких усилий, только с помощью математических преобразований.

В конце 1954 г. С.Н. Вернов предложил мне и Е.Л. Фейнбергу подготовить большой доклад на Международную конференцию по космическим лучам в Мексике (осень 1955 г.), на которую Сергей Николаевич был приглашен как представитель СССР и на которой он собирался представить все доклады от Советского Союза. Это было первое участие СССР в Международной конференции по космическим лучам (хотя они проводились с 1948 г.).

Кандидатские экзамены я сдал все на «отлично», работа над диссертацией продвигалась быстро, и вот уже в начале 1955 г. диссертация была готова. Я сделал по диссертации несколько успешных докладов в ФИАН и в Московском университете. Всеобщее мнение было, что это фактически не кандидатская, а докторская диссертация. Решил защищаться в ФИАН. На Ученом совете мою диссертацию представил Е.Л. Фейнберг. Он сообщил, что ведущие специалисты по космическим лучам считают, что Л.И. Дорману должна быть присуждена сразу докторская степень. Поэтому он предложил назначить трех оппонентов – докторов наук, как требуется по правилам Высшей аттестационной комиссии (ВАК) СССР для защиты докторской диссертации.

Защита состоялась 16 мая 1955 г. Все три оппонента: Виталий Лазаревич Гинзбург, Натан Леонидович Григоров и Борис Соломонович Пикельнер – высказались за то, чтобы мне сразу присудить докторскую степень; это было поддержано всеми выступавшими. Однако была одна серьезная формальная трудность. Дело в том, что по правилам ВАК СССР для присуждения степени доктора наук требуется публикация в престижных журналах как минимум 20–25 статей или хотя бы одной монографии. Ученый совет перед тайным голосованием предложил мне на выбор два варианта: или я снимаю диссертацию с защиты, публикую монографию и затем по монографии защищаю докторскую (без написания диссертации) с теми же тремя оппонентами, или мне присуждают кандидатскую степень и рекомендуют

диссертацию к публикации в виде монографии в престижном Гостехтеориздате, а затем я защищаю докторскую (без написания диссертации). Я выбрал второй вариант, так как при этом моя зарплата сразу возрастет в 3,5 раза, я смогу отказаться от работы в школе, что позволит мне полностью сосредоточиться на монографии.

С сентября 1955 г. я сосредоточился на работе над монографией. Был заключен контракт с Гостехтеориздатом в соответствии с объемом диссертации (свыше 300 страниц машинописного текста) на 15 авторских листов. Вскоре ВАК СССР утвердил мою ученую степень, я получил диплом и принес его в отдел кадров для подготовки приказа директора о повышении мне зарплаты как младшему научному сотруднику со степенью кандидата наук (с 800 до 2700 руб. в месяц). И тут Н.В. Пушкив, которого я очень уважал, вдруг нанес мне совершенно неожиданный удар: он не подписал этот приказ, а издал другой, по которому я перевожусь с должности младшего научного сотрудника на должность инженера с прежним окладом 800 руб. в месяц. Таким образом, моя ученая степень в смысле зарплаты была как бы аннулирована.

Я был ошарашен, мое материальное положение становилось катастрофическим (тем более что из школы я уже ушел). Я долго думал, что делать. Я догадывался, в чем дело. У Н.В. Пушкива был свой, особый взгляд на ученого: чем хуже он живет материально, тем меньше он отвлекается на посторонние дела и лучше работает. А Николай Васильевич верил в меня и возлагал большие надежды. После долгих раздумий я решил не идти на конфликт с Н.В. Пушкивым, а принять его решение спокойно, как должное.

Я работал день и ночь, спал по 2–3 часа в сутки, много курил и сильно похудел. Я помногу дней не уходил с работы, спал в кабинете, положив голову на стол. Иногда маме удавалось уговорить меня пойти домой поспать нормально. Еду мама приносила ко мне в институт. Поскольку я из института не уходил по нескольку дней, то номерок я не перевешивал, и табельщица подала рапорт, что я прогуливаю. Н.В. Пушкив объявил мне выговор за прогулы. Я пошел к нему и объяснил, что на самом деле никаких прогулов не было, просто я не уходил из института, увлеченный работой. Н.В. Пушкив выговор отменил и спросил меня, понимаю ли я теперь почему он перевел меня на должность инженера. Я ответил, что понимаю.

Уже к февралю 1956 г. книга была в основном готова. По сравнению с диссертацией объем вырос в два раза, но Гостехтеориздат согласился на увеличение объема до 30 авторских листов. И тут, 23 февраля 1956 года около 4 часов утра по московскому времени произошла самая грандиозная вспышка солнечных космических лучей. Я в это время был в лаборатории и проверял работу ионизационной камеры (как ответственный за непрерывную регистрацию космических лучей). Посмотрев в оптическую приставку, я обнаружил удивительно быстрое движение нити вверх, и через

короткое время прибор зашкалило. Я его на мгновение заземлил, и опять нить быстро полезла вверх, пока прибор опять не зашкалило. Так я повторял около 10 раз. В результате мне удалось получить уникальные данные об этой вспышке за все время (на остальных станциях мира приборы зашкалило, и информация об основной части явления была утеряна; на многих станциях лаборанты сами отключили приборы, решив, что они испортились).

Мне удалось быстро оценить основные параметры явления и энергетику вспышки. В «Литературной газете» за 8 марта 1956 года появилось большое интервью со мной об этой вспышке и о солнечных космических лучах. Это была сенсация! Меня стали приглашать во многие министерства, а однажды в институт приехала за мной шикарная машина из КГБ, и я читал лекцию в их печально знаменитом здании на Лубянке. Академик Л.Д. Ландау пригласил меня на свой знаменитый семинар в Институте физических проблем. Прочитал я тогда много лекций об этой вспышке и о космических лучах во многих других институтах и учреждениях. В Гостехтеориздате я попросил разрешения добавить большой новый материал по солнечным космическим лучам, полученным на основе данных по вспышке 23 февраля 1956 года и отсрочить дату сдачи рукописи на полгода. Мне разрешили. Летом 1956 г. рукопись была сдана в печать. Объем превысил первоначально намеченный уже в три раза (около 45 авторских листов), но поскольку рукопись получила прекрасные отзывы рецензентов, Гостехтеориздат и с этим увеличением объема согласился.

В начале 1957 г. была уже готова первая корректура книги. В это время Евгений Львович Фейнберг поехал с нашими докладами в Италию на Международную конференцию по космическим лучам. Через Главлит я оформил разрешение на вывоз корректуры книги за границу, и Е.Л. Фейнберг взял ее с собой в Италию, где был устроен специальный семинар по книге. Евгений Львович рассказал о содержании книги, об основных оригинальных результатах. Все поддержали идею, что эта книга должна стать настольной для специалистов обсерваторий космических лучей, занимающихся изучением временных вариаций их интенсивности. Всемирно известный профессор Джон Симпсон из Чикагского университета (создатель основного наземного прибора – нейтронного монитора и впоследствии председателя Международной комиссии по космическим лучам) взялся организовать быстрый перевод книги на английский язык, издание и рассылку во все обсерватории космических лучей, ученым, в библиотеки университетов и научных институтов. Все это было проделано в невиданно короткий срок научным отделом военной базы Охио Министерства обороны США (как потом рассказал Дж. Симпсон, впервые с применением компьютера для получения подстрочного перевода). В результате книга на английском языке появилась уже в начале 1958 г.

Книга «Вариации космических лучей» была посвящена памяти папы. В июле 1957 г., когда я получил авторские экземпляры, я подарил их моим учителям Евгению Львовичу Фейнбергу, Сергею Николаевичу Вернову, маме, сестрам, брату. Вскоре начался Всемирный фестиваль молодежи в Москве. Я все дни проводил на фестивале. Мама тоже все дни пропадала на фестивале, не пропуская ни одного концерта Израиля. Однажды ей удалось встретиться с членами делегации Израиля. Она попросила разыскать брата и передать ему мою книгу. Когда в апреле-мае 1990 г. я впервые появился в Израиле и попал в дом брата, я увидел мою книгу с дарственной надписью маме у него на полке.

После выхода в свет книги у меня возникла проблема: что делать дальше? Честно говоря, о защите докторской степени по книге я просто забыл. Мне хотелось изменить специальность и попробовать себя в какой-нибудь другой области науки. Тогда мне очень нравились две области науки – физика элементарных частиц (как продолжение моей дипломной работы в МГУ) и новая модная область, бурно развивающаяся в связи с проблемой термоядерной энергетики, магнитная гидродинамика и физика плазмы.

В октябре 1957 г. мне сделали почетное предложение – создать и возглавить отдел магнитной гидродинамики в Магнитной лаборатории Академии наук СССР (это была та самая знаменитая совершенно секретная лаборатория, созданная академиком А.П. Александровым во время войны для решения военно-прикладных проблем). Хотя формально она принадлежала Академии наук СССР, фактически она финансировалась без ограничений и выполняла задания Всесильной ВПК (Военно-промышленной комиссии ЦК КПСС и Правительства СССР). Я дал согласие. Н.В. Пушков очень обиделся на меня за мой уход из Института земного магнетизма, но все-таки согласился на перевод (без потери стажа работы). На Ученом совете Магнитной лаборатории меня быстро избрали на новую должность. Лаборатория находилась в самом центре Москвы, около Кузнецкого моста, и имела филиал в академгородке недалеко от нашего института (сейчас город Троицк).

Летом 1958 г. в Москве проходил Международный симпозиум, посвященный итогам Международного геофизического года. На него приехало много специалистов по космическим лучам, в том числе и Дж. Симпсон, подаривший мне мою книгу, изданную в США на английском языке. Он организовал специальное совещание всех специалистов по космическим лучам и предложил сформировать Международный комитет по метеорологическим эффектам космических лучей. Меня избрали президентом этого комитета. Главной задачей комитета было разработать единую методику расчета метеорологических поправок космических лучей на основе моей теории. В результате я параллельно опять стал заниматься космическими лучами. В нашем филиале в академгородке мне предоставили один четы-

рехкомнатный дом для занятий космическими лучами и разрешили принять на работу нескольких лаборантов-вычислителей, помогавших мне в исследованиях вариаций космических лучей. Я стал научным руководителем моих друзей Ольги Иноземцевой (я с ней учился в университете), Якова Блоха (окончил Московский инженерно-физический институт), Наума Каминера из Ленинграда, Лули Шаташвили из Тбилиси, Ариана Кузьмина из Якутска и других. Вместе мы выполнили много важных научных исследований и представили несколько докладов на Международную конференцию по космическим лучам (Москва, август 1959 г.). На этой конференции у меня был также большой «приглашенный доклад» на пленарном заседании.

В начале 1961 г. произошло событие, сыгравшее важнейшую роль в развитии экспериментальной базы не только вариаций космических лучей, но и вообще всего комплекса солнечно-земной физики. Председатель Правительства А.Н. Косыгин подписал постановление, подготовленное группой ученых, возглавляемой Н.В. Пушковым и С.Н. Верновым (от космиков в эту группу входили Яков Блох и я). Постановление готовилось в 1959–1960 гг. в связи с подготовкой к Международному году спокойного Солнца (МГСС). Дело в том, что 1 января 1961 г. произошла реформа с увеличением стоимости рубля в 10 раз, а чиновники забыли учесть это в проекте постановления. В результате реально правительство выделило на эти работы в 10 раз больше средств, чем запрашивалось. Благодаря этой ошибке чиновников удалось вместо небольших мониторов типа МГГ разработать нейтронные супермониторы типа МГСС с эффективной площадью в 10 раз больше, создать специальный цех для производства больших счетчиков СН-15, вместо небольших станций создать новые институты или существенно расширить существовавшие.

В конце 1961 г. мне позвонил заместитель председателя Военно-прикладной комиссии Академии наук, которому подчинялась наша Магнитная лаборатория, что я должен быть готов на следующий день сделать в Кремле очень важный доклад о возможных военных приложениях магнитной гидродинамики. За нами заехала спецмашина, и после многих проверок я впервые оказался в Кремле, в святая святых, на заседании всесильной Военно-промышленной комиссии ЦК КПСС (о ней тогда говорили только шепотом). Мой доклад прошел очень хорошо, и было принято решение организовать на базе Магнитной лаборатории АН СССР специальный закрытый Институт магнитной гидродинамики, а меня назначить директором этого института. Когда заместитель председателя Военно-промышленной комиссии с этим решением пошел на подпись к председателю, из его кабинета вышли академики А.П. Александров и М.Д. Миллионщиков. Оказалось, что они уже успели договориться о передаче Магнитной лаборатории АН СССР в знаменитый Институт атомной энергии имени И.В. Курчатова.

Позже академики А.П. Александров и М.Д. Миллионщиков встретились со мной и предложили организовать и возглавить новое направление в Институте атомной энергии. В результате переговоров с Военно-промышленной комиссией ЦК КПСС пришли к компромиссу: внутри Института атомной энергии на базе Магнитной лаборатории АН СССР создали специальный Отдел магнитной гидродинамики, и, хотя я был беспартийным, меня назначили его руководителем. Мне тогда было всего 32 года, а под моим началом оказалось много ученых (многие были намного старше меня), и мне уже было как-то неловко оставаться кандидатом наук. Я вспомнил о решении Ученого совета ФИАН (где в 1955 г. я защищал кандидатскую диссертацию) и решил в качестве докторской представить мою книгу «Вариации космических лучей», но меня попутал бес, и я добавил к книге еще 40 моих больших работ по этой же тематике, выполненных в последние годы. Так как теперь это оказалась «совокупность работ», то Ученый совет ФИАН направил все в ВАК СССР за разрешением. Каково же было наше удивление, когда пришел следующий ответ: если бы это была одна книга, то разрешения вообще не требуется; но поскольку это «совокупность работ», то, учитывая мою молодость, мне предлагается написать диссертацию, а учреждению, где я работаю, предлагается предоставить мне 6-месячный творческий отпуск для написания диссертации. Я пошел с этим ответом к директору Института атомной энергии академику А.П. Александрову. Анатолий Петрович страшно рассердился, сказал, что сейчас так много работы, что ни о каком отпуске не может быть и речи. Больше всего Анатолия Петровича возмутила бюрократическая придирка: по одной книге мне вообще разрешения не надо, а если добавить еще 40 работ, то ВАК отказывает. Он тут же написал сердитое письмо в ВАК и позвонил ее председателю. Через несколько дней пришло положительное решение ВАК, а через пару месяцев я стал доктором наук (2 июля 1962 г.).

Работа в Институте атомной энергии была очень престижной и высокооплачиваемой, но была сверхсекретной. Поэтому о поездках за границу на международные конференции не могло быть и речи. Были также большие трудности с публикацией открытых работ по магнитной гидродинамике, поскольку эти работы были тесно связаны с прикладными сверхсекретными разработками (мне тогда удалось опубликовать только несколько работ по магнитной гидродинамике океанов и по магнитно-гидродинамической модели происхождения магнитного поля Земли).

В 1962–1963 гг., кроме основной, секретной работы я выполнил несколько исследований по космическим лучам, подготовил и опубликовал книгу на английском языке «Астрофизические и геофизические аспекты космических лучей», которая вышла в 1963 г. в Англии в знаменитой серии «Прогресс в физике элементарных частиц и космических лучей». В этом же году в издательстве «Наука» вышла моя большая книга «Вариации космических лучей и исследования космоса» объемом свыше 1000 страниц.

С 1964 г. я начал читать лекции в Иркутском госуниверситете и стал работать по совместительству в СибИЗМИРАНе. Летом 1964 года директор СибИЗМИРАНа профессор Степанов пригласил меня на правительственную дачу на берегу озера Байкал. Туда же он пригласил академика Г.И. Будкера и ряд других ведущих ученых из Сибирского отделения Академии наук СССР, выходцев из того же Института атомной энергии, в котором я работал. В непринужденной обстановке мы очень сдружились, обсуждали интересные научные проблемы, выдвигали новые идеи.

Я понимал, что поездки за границу для меня закрыты на многие годы. Я решил организовать экспедиции по изучению космических лучей внутри СССР. И вот первая такая экспедиция была подготовлена с помощью денег Сибирского отделения Академии наук СССР к лету 1965 г.: озеро Байкал, затем река Ангара, затем река Енисей, Северный Ледовитый океан, Белое море, Беломорско-Балтийский канал, цепочка озер, затем река Волга, Каспийское море. Аппаратуру подготовили мои ученики в СибИЗМИРАНе. Моя жена Ирина с энтузиазмом согласилась участвовать в этой первой экспедиции.

Меня все больше стали интересовать космические лучи. Благодаря помощи С.Н. Вернова и академиков М.Д. Миллионщикова, Л.А. Арцимовича и В.И. Векслера в октябре 1965 г. был основан новый Отдел космических лучей в ИЗМИРАНе, и я стал его руководителем. С 1965 г. С.Н. Вернов пригласил меня на должность профессора Московского университета (на 0,5 ставки), где я стал читать спецкурс «Вариации и происхождение космических лучей» и общий курс «Ядерная физика» (эти курсы я читал без перерыва до 1991 г.). У меня здесь появилось много дипломников и аспирантов не только из СССР, но и из других стран – Польши, Чехословакии, Венгрии, Болгарии, Румынии, Египта, Индии.

В начале 1966 г. С.Н. Вернов поручил мне подготовить делегацию для поездки в Болгарию на Международную школу по космофизике (я был приглашен на нее в качестве профессора для чтения лекций). Надо было заполнить огромное количество анкет, пройти партком института и, самое тяжелое, специальную комиссию райкома партии. Мы все к ней очень серьезно готовились, были даже специальные конспекты и шпаргалки. Я тщательно подготовился и на все вопросы ответил правильно. Наконец самый каверзный вопрос: почему я, заведующий отделом, доктор наук, не вступаю в ряды КПСС? Я ответил, что готовлюсь к этому, но должен изучить труды классиков марксизма-ленинизма, а это требует много времени. Комиссия с уважением отнеслась к моему ответу и дала добро на мою поездку.

Однако, как и ожидалось, КГБ меня не пропустил из-за моей прежней работы в Институте атомной энергии. Тогда С.Н. Вернов и Н.В. Пушков обратились к М.Д. Миллионщикову с просьбой помочь в решении этой пробле-

мы. Михаил Дмитриевич доброжелательно откликнулся на эту просьбу и дал КГБ гарантию, что я никого не подведу (эта гарантия действовала вплоть до смерти М.Д. Миллионщикова). И вот в мае 1966 г. я на поезде впервые пересек границу СССР.

В конце 1966 г. у меня зародилась идея – организовать на следующий, 1967, год зарубежную экспедицию в Южную Америку. Мой аспирант Володя Коваленко обещал сделать все, чтобы реализовать эту идею.

В феврале 1967 г. у нас была очередная Всесоюзная зимняя школа по космофизике в Бакуриани (горно-лыжный курорт на юге Грузии). Эти все-союзные зимние школы я организовывал по поручению С.Н. Вернова с помощью своих учеников начиная с 1964 г. Первые две школы в 1964 и 1965 гг. были в правительственных домах отдыха под Алма-Атой. Затем две школы, в 1966 и 1967 гг., – в Бакуриани и две школы, в 1968 и 1969 гг., – на севере, в городе Апатиты. Кроме специалистов по космическим лучам мы приглашали на эти школы многих выдающихся ученых: И.С. Шкловского, Е.М. Лифшица, А.Б. Мигдала и др. Днем мы катались на горных лыжах, а вечером проходили занятия. Было много дискуссий, очень интересно.

Все у нас получилось и с организацией зарубежной экспедиции, успели изготовить новую аппаратуру, все получили паспорт моряка, на корабле «Кисловодск» провели специальные работы по укреплению верхней палубы, на которой закрепили нашу тяжелую аппаратуру. Это был обычный грузовой корабль водоизмещением 8000 тонн. Капитаном был интересный человек, с которым мы очень подружились. Ожидались заходы в Гамбург (Германия), Роттердам (Нидерланды), Берген (Бельгия), Буэнос-Айрес (Аргентина), Рио-де-Жанейро и Сантос (Бразилия). Вся экспедиция была рассчитана на 4 месяца.

В это время издательство в Амстердаме готовило к изданию на английском языке мою новую книгу «Космические лучи», и я с корабля дал телеграмму издателю. В Роттердаме он встретил нас на машине и всю нашу экспедицию повез показывать страну и особенно Амстердам. Во время плавания у нас было много свободного времени, хотя кроме круглосуточного дежурства мы еще каждый день запускали баллоны для измерений космических лучей на больших высотах (до 35 км); данные передавались по радио. В свободное время я решил продолжить начатое с моей женой Ириной исследование нелинейного взаимодействия космических лучей с солнечным ветром. Компьютеров тогда у нас не было, и основным инструментом была логарифмическая линейка. Я получил довольно сложное интегродифференциальное уравнение, для которого нашел численные решения для многих случаев. Это послужило основой для нового направления в нашей науке и большой серии статей, сданных в печать после возвращения из экспедиции.

В Рио-де-Жанейро мы стояли две недели. Здесь я с помощью нашего посольства познакомился с сотрудниками Физического института, где прочитал несколько лекций. В институте была прекрасная научная библиотека, и мне разрешили в ней поработать. Я с жадностью набросился на научную литературу, отобрал более сотни важных статей и сделал с них ксерокопии (потом на корабле я эти статьи тщательно изучил).

В Буэнос-Айресе мы тоже стояли две недели. В местном университете я прочитал несколько лекций по космическим лучам. Мы сдружились с работниками нашего посольства, сыграли с ними несколько матчей в волейбол. Посол выделил в наше распоряжение «Мерседес», который водил советник по науке (оказался бывшим учеником Ириной мамы, Ольги Ивановны Замша), так что мы смогли посмотреть не только Буэнос-Айрес, но и многие интересные места в окрестностях столицы.

В мае 1968 г. я был приглашен оппонентом по докторской диссертации Петра Велинова в Болгарию. После защиты была организована очень интересная поездка по всей стране. Я очень подружился с Петром Велиновым, и мы начали писать совместную книгу о воздействии космических лучей на ионосферу и распространение радиоволн (эта книга вышла в Софии в 1974 г.). Очень интересная поездка у меня состоялась в июле 1968 г. в Чехословакию. Это было предгрозовое время (в августе 1968 г. произошло печально известное вторжение советских войск). Когда я там был, все дышало свободой, лица людей сияли, был необычайный творческий подъем. Мне передалась эта атмосфера небывалого счастья обладать свободой. Как известно, это продолжалось недолго.

В конце 1968 г. мне удалось организовать новую экспедицию на том же «Кисловодске», которую возглавил один из моих учеников. В составе этой экспедиции были Ирина и наш близкий друг Ирина Матвеевна Райхбаум (ученый секретарь СибИЗМИРАНа). Маршрут был примерно такой же, но в Южной Америке они посетили гораздо большее число стран, чем в первой экспедиции.

Пока Ирина была в экспедиции, со мной в конце марта 1969 года произошло следующее. Я был на очередной Всесоюзной зимней школе по космофизике в городе Апатиты. Я взял с собой горные и беговые лыжи. В это воскресное утро я проснулся рано. Стояла чудесная погода, и я решил перед тем, как пойти кататься на горных лыжах, немного пробежаться на беговых. На прогулке я встретил небольшую группу студентов Московского университета, тоже на беговых лыжах, собиравшихся в однодневный поход к ближайшим Хибинским горам. Мне это показалось весьма интересным, и я решил присоединиться к ним. В группе оказалось двое моих студентов, и меня приняли. Сбежать в гостиницу, чтобы переодеться потеплее, уже не было времени, и я решил пойти в поход в чем был, одетый довольно легко (тем более что погода стояла безветренная, довольно теплая, около минус 7 гра-

дусов). Планировалось пройти около 30 км, преодолеть два небольших перевала и к вечеру вернуться домой. Было весело, бежалось легко. Мы преодолели первый перевал, пообедали, но когда на обратном пути домой стали подыматься ко второму перевалу, погода резко изменилась, поднялась сильная пурга и температура упала примерно до минус 15–20 градусов при сильном ветре. Ничего не стало видно, и нам пришлось остановиться на крутом подъеме. Так мы неожиданно схватили холодную ночевку. К утру пурга стихла, и мы благополучно добрались домой. Я сразу пошел на заседание и успел сделать свой доклад. Но выглядел я ужасно: лицо, шея, руки и ноги были обморожены. После доклада друзья отвели меня в местную больницу. Оказалось, что больше всего пострадали руки и ноги: обморожение 3-й степени, появились признаки гангрены. В больнице антибиотиков не было, и врач предложил единственный выход – ампутация. Ситуация была критической. Я всю ночь не спал и все думал, как быть.

Как после выяснилось, как раз в эту ночь Ирина увидела меня во сне, что я нахожусь в больнице далеко от Москвы в тяжелом состоянии (в это время корабль «Кисловодск» находился в Атлантическом океане недалеко от берегов Бразилии).

В больнице я заснул только под утро, но проснулся освеженным и энергичным. Я наотрез отказался от ампутации и решил срочно ехать в Москву, где в нашей академической больнице наверняка были антибиотики. Но мой обратный рейс был только через неделю, а в кассе билетов не было. Помог, как всегда, академик Сергей Николаевич Вернов: через обком КПСС он достал бронь на два билета на ближайший рейс. Антибиотики помогли, и вскоре меня выписали из академической больницы, правда, руки еще долго были забинтованы. В конце апреля я поехал в Ленинград встречать «Кисловодск». С верхней палубы меня увидела Ирина. Я ей все рассказал. Надо сказать, что я до сих пор не могу понять с точки зрения физики, каким образом информация обо мне могла дойти до Ирины через многие тысячи километров.

В августе 1969 г. я впервые посетил зарубежную Международную конференцию по космическим лучам и принял в ней активное участие как репортер. Наконец-то я познакомился со многими учеными, получил много приглашений посетить разные страны. Развеялся миф, распространенный среди молодых, что Л.И. Дорман реально не существует, что это просто группа ученых, которая под псевдонимом Дорман печатает книги и статьи (как Бурбаки во Франции).

Особенно интересным было приглашение в Индию на 4 месяца, сделанное профессором Сарабаи, с которым я подружился еще на Международной конференции в Москве в 1959 г. и который стал министром атомной энергии Индии. Он написал письмо президенту Академии наук СССР, и мои выездные документы были быстро оформлены. К сожалению, началась война

между Индией и Пакистаном, моя поездка была отложена, а потом умер мой гарант академик М.Д. Миллионщиков, так что после этого я почти 20 лет не имел разрешения на выезд за границу.

В связи с начавшейся в СССР кампанией борьбы с семейственностью Ирине пришлось в 1975 году уйти из ИЗМИРАНа, так как она находилась в подчинении у меня как у руководителя отдела. Она стала работать в очень интересном Институте истории науки и техники Академии наук СССР.

Позвольте мне еще раз подчеркнуть, что во всех наших начинаниях в ИЗМИРАНе, в секции космических лучей и радиационных поясов Земли при Геофизическом комитете АН СССР, на кафедре космических лучей и физики космоса физического факультета МГУ мы всегда могли рассчитывать на академика Сергея Николаевича Вернова и получать от него важную и своевременную поддержку.

2009 год

СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕРНОВ И КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НИИЯФ МГУ

Е.В. Горчаков

Мое первое неформальное знакомство с С.Н. Верновым произошло зимой 1955/1956 гг. во время защиты дипломной работы. Конечно, я знал Сергея Николаевича и раньше по его ознакомительным лекциям для студентов, и в период прохождения мною преддипломной практики у А.Е. Чудакова и выполнения дипломной работы, которую я делал под руководством Г.Т. Зацепина. Однако во время этих встреч я лишь смотрел на Сергея Николаевича со стороны, а наш первый диалог состоялся на защите диплома. Сергей Николаевич очень внимательно выслушал мое выступление, затем с его стороны последовал град вопросов, на которые я, пройдя школу А.Е. Чудакова и Г.Т. Зацепина, отвечал достаточно уверенно.

По-видимому, это «собеседование» произвело на Сергея Николаевича благоприятное впечатление, поскольку сразу после распределения в НИИЯФ МГУ (тогда НИФИ-2) моя работа или проходила совместно с Сергеем Николаевичем, или находилась в поле его зрения.

Работать с Сергеем Николаевичем было не только полезно, но и весьма интересно. Сергей Николаевич никогда не стоял в стороне от работы, всегда был в курсе ее сущности и проверял полученные результаты своими собственными вычислениями или иным путем. Работал он, можно сказать, непрерывно, и, когда рабочего дня не хватало, работа продолжалась по телефону вечерами или в воскресенье (пятидневки тогда не было).

Именно таким путем в первые годы моей работы в НИИЯФ МГУ были получены интересные сведения о развитии ядерно-активной компоненты в атмосфере Земли в зависимости от характеристик акта элементарного взаимодействия, была разработана в интересах изучения широких атмосферных ливней диффузионная камера. В те времена диффузионные камеры только начинали входить в арсенал экспериментаторов. В разработке и налаживании диффузионной камеры огромную роль сыграл А.Е. Чудаков, без участия которого эта работа вряд ли была бы выполнена. Так, вероятно, все продолжалось бы и дальше, но в 1957–1958 гг. произошли запуски первых советских искусственных спутников Земли (ИСЗ), и Сергей Николаевич к процессу обработки и интерпретации полученных данных привлек меня и несколько позднее целый ряд других сотрудников.

В то время мало кто мог удержаться, если была такая возможность, от исследования космоса. Я понимал, что это направление исследований (во всяком случае на некоторое время) будет доминирующим, и с радостью принял предложение Сергея Николаевича.

Вообще говоря, так как никто в мире не ожидал открытия геомагнитно захваченной радиации, изначально данные первых ИСЗ и космических ракет были совершенно неожиданными и непонятными. Надо сказать, что Сергей Николаевич одним из первых поверил в возможность существования интенсивных потоков заряженных частиц, захваченных магнитным полем Земли, предложил и рассчитал для их объяснения один из возможных механизмов генерации – нейтронный механизм. Этот механизм до сих пор не потерял своего значения для внутреннего радиационного пояса, однако для объяснения внешнего радиационного пояса нужен был другой подход, учитывающий солнечную активность, вариации геомагнитного поля и плазменные процессы. В то время в нашем институте не было специалистов по этим вопросам, поэтому Сергей Николаевич в поисках ускорительного механизма, необходимого для объяснения процессов во внешней магнитосфере, стал привлекать к работе одаренных и талантливых ученых из других институтов (ФИАН, Институт им. И.В. Курчатова и др.). В частности, сотрудником нашего института стал Б.А. Тверской, который до этого работал у М.А. Леонтовича. Именно Б.А. Тверской и внес существенный вклад в понимание процессов формирования геомагнитно захваченной радиации.

Настоящий фрагмент из истории исследования радиационных поясов я привожу затем, чтобы показать, что для С.Н. Вернова главным было стремительное движение к цели, и для достижения этого он подбирал и поддерживал активных и творческих специалистов.

Если говорить про первый этап открытия и исследования радиационных поясов, необходимо сказать несколько слов про эксперимент, выполненный на спутниках серии «Электрон». Дело в том, что радиационные пояса были открыты в годы максимума солнечной активности и совершенно было неясно, что произойдет с поясами в годы минимальной активности (1964–1965).

Поэтому С.Н. Вернов выступил с предложением об одновременном запуске одной ракетой двух спутников Земли, имеющих существенно разные орбиты, но укомплектованные практически идентичной аппаратурой, предназначенной для изучения радиационных поясов и других явлений в околоземном пространстве. Всего было запущено две пары спутников «Электрон», полученные с их помощью данные принципиально расширили наши представления о радиационных поясах и до сих пор представляют несомненную ценность. Таким образом, этот очень нужный эксперимент состоялся. И состоялся благодаря инициативе С.Н. Вернова. Этот эксперимент имел огромное значение для изучения не только радиационных поясов, но и

ряда других процессов в космическом пространстве (предусматривалось измерение магнитного поля, космических лучей, химического состава среды, коротковолнового излучения Солнца, радиоизлучения Галактики и микрометеорных частиц).

Однако не всегда дорога С.Н. Вернова была усеяна розами. Во второй половине 1960-х годов в научных кругах, которые формировали планы научных исследований, стало преобладать мнение, что радиационные пояса уже достаточно изучены и эти эксперименты следует прекратить или, во всяком случае, приостановить. Это мнение было также распространено на изучение космических лучей с помощью автоматических межпланетных станций (АМС). И тогда Сергей Николаевич еще раз проявил свои бойцовские качества, через голову руководящих кругов вышел непосредственно на генеральных конструкторов и убедил их продолжить исследования за счет конструкторских резервов. И вновь ИСЗ и АМС были укомплектованы аппаратурой НИИЯФ МГУ, и это взаимодействие оказалось столь плодотворным, что функционирует до сих пор.

Нельзя закончить эти страницы, не вспомнив о том, что Сергей Николаевич не только был увлечен решением фундаментальных проблем, но всегда уделял серьезное внимание решению прикладных задач.

Мало кто знает, что С.П. Королев планировал проводить полеты пилотируемых станций на высоте 1500 км. Сергей Николаевич доказал, что на этой высоте станции попадут в центр внутреннего радиационного пояса, а космонавты и аппаратура получают недопустимо большую дозу радиации, и настоял на том, чтобы полеты проходили на высоте не более 300 км. Как известно, и по сей день полеты как наших, так и американских космонавтов проходят на высоте меньше 300 км.

В интересах обеспечения безопасности пилотируемых и автоматических ИСЗ и АМС в НИИЯФ МГУ создавался сборник «Модель космоса», в котором рассматривался широкий круг вопросов по условиям полета. Этот сборник, созданный по инициативе Сергея Николаевича, успешно выдержал семь изданий и по его же инициативе плавно перешел в многочисленные ГОСТы по физическим условиям в космическом пространстве.

В заключение хочется отметить, что до последних дней Сергей Николаевич любил науку и получал удовольствие от общения с нею. Причем занятия наукой были весьма многообразны: это и индивидуальные занятия, и участие в конференциях, и проведение семинаров от совсем маленьких до городских и общесоюзных. На семинарах Сергей Николаевич всегда активно работал независимо от того, был ли он просто участником или руководителем, и его присутствие всегда создавало творческую, рабочую атмосферу, чему немало способствовала также и открытость Вернова: с ним всегда можно было посоветоваться, получить консультацию, и не только в рабочее время, но и в любой другой день и час, что, конечно, было очень удобным

для нас. И вот это сочетание интереса к науке, умения работать с людьми, убеждать и, если нужно, переубеждать их, наверное, и были залогом научных успехов института и колоссального количества новых полученных результатов. Лучшие традиции космофизической школы, заложенные Сергеем Николаевичем Верновым, а именно умелое сочетание экспериментальных и теоретических исследований, серьезное отношение к решению как фундаментальных, так и прикладных задач, включая совершенствование и разработку новых моделей физических условий космического пространства, прямой диалог с фирмами, плодотворно живут и развиваются в нашем институте и в настоящее время.

1995 год

Я БЛАГОДАРЕН СУДЬБЕ

И.М. Подгорный

О работах С.Н. Вернова в области космических лучей я узнал впервые в довоенные годы от нашего преподавателя физики И.М. Житенева, а затем в физическом кружке Краснодарского дворца пионеров. Нам, ученикам старших классов, рассказывали о загадочном явлении – потоке быстрых заряженных частиц из космоса и об измерениях этих частиц на знаменитых Советских стратостатах. Мы, ученики старших классов, мечтали стать физиками и астрономами. Начавшаяся в 1941 г. война несколько изменила стиль жизни. Уроки военного дела стали проводиться серьезнее, стали заниматься штыковым боем, стрельбой по мишеням, но физический кружок работал по-прежнему, и казалось, что будущее наше будет связано с наукой. Однако мечтам не пришлось сбыться. Летом 1942 г. вокруг города начали возводить укрепления, а в августе немецкие танки прорвали нашу оборону под Ростовом и неожиданно ворвались в мой город. Начались облавы, смертная казнь за отказ от регистрации на бирже труда. Поймали во время облавы и меня, послали мыть санитарные машины и строить дорогу, а затем вывезли в Румынию.

И все же я поступил в Московский университет. Но это было уже после того, как удалось бежать из плена, повоевать и отлежаться в госпитале после полученных ранений. Сергея Николаевича я увидел в первый раз на семинаре в Лаборатории 2 (так назывался тогда Институт атомной энергии). Там в присутствии практически всех советских специалистов по ядерной физике и космическим лучам проходила очень напряженная дискуссия о массовом спектре космических лучей в связи с измерениями, выполненными А.И. Алихановым и А.И. Алиханяном в Армении. Сомнения, высказанные тогда Сергеем Николаевичем, о достоверности данных, показывающих широкий массовый спектр мезонов, оказались правильными. Несмотря на остроту дискуссии, Сергей Николаевич подчеркивал важность экспериментов, проведенных армянскими учеными. В дальнейшем я убедился, что такой объективный подход к данным чужих работ был всегда типичен для С.Н. Вернова.

Непосредственно познакомился я с С.Н. Верновым в 1956 г., когда был приглашен на работу по совместительству на кафедру Л.А. Арцимовича (кафедра атомной физики). Главная идея создания этой кафедры состояла во введении в курс обучения последних достижений физики горячей плазмы, рассекречивание которых готовил И.В. Курчатов. С Д.В. Скобельцыным и

С.Н. Верновым состоялось обсуждение возможности создания небольшой учебной лаборатории горячей плазмы в НИИЯФ, где можно было бы выполнять дипломные работы, в том числе предполагалась стажировка студентов и аспирантов граждан других стран.

В качестве основной темы я предложил исследования жесткого рентгеновского излучения газового разряда в водороде при разрядном токе в сотни килоампер. К этому времени в отделе Л.А. Арцимовича в Институте атомной энергии мы обнаружили, что мощный газовый разряд излучает рентгеновские кванты с энергией выше 300 кэВ при приложенной к электродам разности потенциалов не более 15 кВ. Выяснилось, что ускорение происходило силой Лоренца при быстром сжатии плазмы током разряда. Идея постановки такого эксперимента особенно понравилась Сергею Николаевичу, который всегда искал разные возможности ускорения частиц в плазме.

Л.А. Арцимович договорился с И.В. Курчатовым о безвозмездной передаче в НИИЯФ мощного импульсного генератора и измерительной техники, а С.Н. Вернов выделил в производственном корпусе помещение для монтажа экспериментальной установки. С помощью камеры Вильсона мы измерили спектр рентгеновского излучения и сравнили его со спектром рентгеновской трубки, к которой прикладывалась известная разность потенциалов. Результаты этих экспериментов я докладывал в 1958 г. на Второй Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии. На пресс-конференции особенно доволен был представитель Польши, так как одним из соавторов доклада был польский студент Стефан Хвашевский, который к тому времени уже уехал в Польшу. После этого его пригласили на работу в польский Институт ядерных исследований, а затем назначили директором института. В нашей маленькой лаборатории всегда был успешно работающий интернациональный коллектив. Многие стали руководителями науки в своих странах. Дипломные работы и кандидатские диссертации защитили граждане СССР, Германии, Индии, США, Польши, Чехословакии, Венгрии, Бразилии.

Вторая Женевская конференция по мирному использованию атомной энергии знаменита не только тем, что там впервые советская, американская и английская делегации обменялись данными и идеями о возможности осуществления контролируемой термоядерной реакции. На конференции был представлен также сенсационный доклад С.Н. Вернова и А.Е. Чудакова об открытии радиационного пояса Земли. Это открытие сыграло важную роль и в развитии термоядерных исследований. Все началось в 1954 г. в кабинете Л.А. Арцимовича, который предложил поставить эксперимент по обнаружению двойного бета-распада изотопа кальция-48. Возможность такого явления широко обсуждалась тогда теоретиками в связи с интенсивным изучением свойств нейтрино. Зарегистрировать одновременное испускание двух электронов в очень редком событии было нелегко, и мы обсуждали

возможные схемы эксперимента. В кабинет вошел А.М. Будкер со словами: «У меня есть идея». Идея состояла в том, чтобы поместить исследуемый образец с большой площадью в слабое магнитное поле, силовые линии которого сгущаются, и в месте сгущения расположить регистратор. Казалось, что в такой геометрии частицы будут входить в сильное поле, как в воронку, и отношение сигнала к шуму можно увеличить на несколько порядков величины. Л.А. Арцимович отреагировал немедленно: «Андрей Михайлович, вы опять демонстрируете незнание элементарной физики, сильное магнитное поле действует на заряженную частицу, как зеркало, из-за сохранения адиабатического инварианта. Частица отразится от области сильного поля и вернется обратно». На другой день звонит мне А.М. Будкер: «У меня есть идея, пойдем вместе к Арцимовичу». Он предложил использовать для длительного удержания быстрых частиц однородное магнитное поле, усиленное на концах, а места усиления назвал пробками. Отражаясь от пробок, заряженная частица оказывается захваченной в магнитную ловушку. Длительное удержание быстрых ионов дейтерия должно обеспечить протекание термоядерных реакций. Позже американцы предложили называть такую систему магнитной бутылкой. Для экспериментального подтверждения удержания плазмы в магнитной ловушке стали готовить лабораторный эксперимент, и вдруг эффект удержания совершенно неожиданно был обнаружен С.Н. Верновым и А.Е. Чудаковым в естественной магнитной ловушке. После этого магнитные ловушки стали строить почти во всех термоядерных лабораториях мира.

В 1964 г. моя официальная деятельность в МГУ была прервана. Партком Института атомной энергии, используя лживый донос психически ненормального человека, находившегося на лечении в психбольнице, классифицировал мое пребывание в немецкой неволе, как «добровольное прислужничество немецким фашистам». Директор ИАЭ, член ЦК ВКП(б) А.П. Александров отозвал из МГУ разрешение на мое совместительство. Только в 1989 г. после протестов ряда ученых, включая Сергея Николаевича, общественных деятелей и героев Отечественной войны мое очередное заявление было передано на контроль заместителю Генерального прокурора СССР Б.И. Романюку. Его сотрудники провели детальное расследование, и результаты направили в Верховный суд РСФСР для вынесения официального решения. Суд признал все обвинения ложными и потребовал их опровержения дирекцией Института атомной энергии.

В течение всего этого времени мне удавалось не прерывать научной деятельности благодаря содействию академика Е.К. Завойского, а затем по инициативе Л.А. Арцимовича и С.Н. Вернова я был переведен в Институт космических исследований и написал докторскую диссертацию. Диссертация была принята к защите Д.В. Скобельцыным и успешно защищена. Однако четыре года диссертация не утверждалась ВАК. Понадобилось не-

сколько протестов, в том числе и протеста Сергея Николаевича, чтобы вынести обсуждение работы на пленум ВАК. Я был вызван повесткой к 10.00. Получилось так, что именно на этот день комитет ветеранов войны награждал меня двумя билетами в Большой театр, где труппа Ла Скала ставила оперу «Норма». Спектакль начинался в 12.00. Мы с женой сидели в приемной ВАК и смотрели на часы, хотелось бросить все и уйти. Меня вызвали в зал. Войдя, я увидел перед собой Сергея Николаевича, который протянул мне руку. Несомненно, это была продуманная демонстрация поддержки.

Председательствующий министр высшего образования обратился ко мне: «Игорь Максимович, какие у вас есть вопросы к членам президиума ВАК?» Я ответил, что поскольку меня вызвали, то, по-видимому, у членов ВАК есть вопросы ко мне. Две-три минуты полной тишины. Тогда я встал и сказал, что если мне дадут пять-шесть минут, то я кратко расскажу о продолжении моих исследований. Министр ответил: «Пожалуйста». Я говорил, действительно, не более пяти минут. «О решении ВАК вы узнаете в канцелярии в конце дня». Я выбежал из зала заседания, и мы с женой успели занять свои места в партере Большого театра за минуту до третьего звонка. Вернувшись в ВАК после спектакля, узнал, что моя диссертация утверждена. Что происходило в зале заседания, когда я вышел, не знаю. Сам Сергей Николаевич никогда мне не рассказывал, а спросить было неудобно.

Невозможно переоценить те усилия, которые прилагал академик С.Н. Вернов для объединения всех специалистов, занимающихся космическими исследованиями. Это особенно проявилось во время его знаменитых ежегодных Ленинградских семинаров. Проведя в 1967–1968 гг. два всесоюзных семинара по космофизике в Апатитах, он перенес их в Ленинград, где имела возможность принимать иностранных ученых. Апатиты были выбраны для первых всесоюзных семинаров не случайно, там в трудных условиях был создан научный центр, в него входил Полярный геофизический институт КНЦ АН, в котором начал работать нейтронный монитор – прибор, регистрирующий потоки нейтронов, образованные релятивистскими частицами, проникшими в магнитное поле магнитосферы Земли. Следует отметить, что, занимаясь непосредственно измерениями на космических аппаратах, Сергей Николаевич активно поддерживал и создание сети наземных станций регистрации космических лучей. По его инициативе в Якутии был создан знаменитый ШАЛ для регистрации ливней космических лучей и строилась сеть нейтронных мониторов, расположенных на различных широтах. В настоящее время все наши и зарубежные мониторы работают как единый спектрометр, позволяющий быстро регистрировать спектры релятивистских протонов при солнечных вспышках. Таким образом, созданная благодаря заботе Сергея Николаевича сеть мониторов позволяет сейчас, через 40 лет, получать уникальные данные о спектрах космических лучей, генерируемых на Солнце во время солнечных вспышек.

С 1969 г. под руководством С.Н. Вернова стал работать Ленинградский международный семинар. Темой семинара была выбрана физика космоса во всех ее проявлениях, но главным направлением оставались исследования космических лучей. Без преувеличения можно сказать, что подобного семинара нигде никогда не было, и сейчас нет. Трудно назвать имя кого-нибудь из крупных советских ученых исследователей космоса, кто не представлял доклада на этот важный форум. Самые известные западные специалисты по космической физике считали для себя за честь получить приглашение от Сергея Николаевича.

В семинаре неоднократно участвовали такие знаменитые иностранные физики, как Х.И. Альфвен, К.А. Андерсон, Э. Баге, Дж. Бакал, Г. Вибберенц, Д. Вильямс, И. Гайс, Р. Дэвис, С. Кримигис, Н. Несс, С. Пинтер, Р. Рамати, А. Шомоди, Э.Л. Чап. После доклада Дж.Р. Винклера зондирование магнитного поля электронными пучками и плазменными потоками чуть не стало одним из главных направлений Института космических исследований АН. К сожалению, успех Дж.Р. Винклера развить в СССР не удалось. Из докладов Э.Л. Чапа и Р. Рамати мы впервые узнали о ядерных реакциях, происходящих на Солнце во время вспышки. Вспышечные гамма-всплески были зарегистрированы и на советском аппарате «Прогноз-2», но их обработка затянулась, и данные к этому времени носили лишь предварительный характер. Для нас, советских физиков, особенно важны были доклады редактора *«Journal Geophysical Research»* Я. Аксфорда, который был частым гостем семинара и всегда рассказывал содержание самых последних еще не опубликованных работ, направленных в журнал. В течение 11 лет международный семинар С.Н. Вернова был, несомненно, главным каналом обмена идеями и результатами между нами и нашими американскими коллегами.



На банкете после Ленинградского семинара:
сидят Дж. Гайс, Я. Аксфорд, Г.Е. Качаров, Е. Баге;
стоят И.М. Подгорный, С.Н. Вернов

На семинаре царила удивительно дружелюбная творческая атмосфера. Если С.Н. Вернов замечал, что высказываемые в докладе соображения не поняты аудиторией, он моментально останавливал докладчика и просил изложить данную мысль проще. Чтобы избежать трудностей, связанных с языковым барьером (тогда мало кто в СССР хорошо владел английским языком), привлекались самые высококвалифицированные переводчики. Я всегда удивлялся работоспособности Сергея Николаевича. Он не пропускал ни одного доклада, старался вникнуть в сущность всех представленных сообщений. Справедливости ради следует отметить и неимоверные усилия сотрудников отдела Гранта Егоровича Кочарова в организации семинара. Издаваемые сборники трудов семинара тщательно редактировались Г.Е. Кочаровым и В.А. Дергачевым. Эти сборники можно было увидеть на столах руководителей космических программ в лабораториях всего мира. После смерти Сергея Николаевича возобновить работу семинара не удалось.

С.Н. Вернов был одним из главных идеологов космических исследований в то героическое время, когда наша страна совершила гигантский скачок в науке. Влияние С.Н. Вернова на развитие различных направлений исследований было основано на высоком научном авторитете и личном обаянии. Уход из жизни этого замечательного человека был невосполнимой утратой. Я благодарен судьбе, которая свела меня с Сергеем Николаевичем.

2009 год

СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕРНОВ И ЕГО КОСМОФИЗИЧЕСКАЯ ШКОЛА

Г.П. Любимов

1. Путь в космическую физику

Учитель

Здесь будет рассказано лишь об очень малой части совместной работы. О некоторых особенно запомнившихся событиях увлекательного, но трудного творческого пути в космос. Здесь будут изложены некоторые самые яркие воспоминания о С.Н. Вернове, о созданной им школе космофизиков, о его неустанной заботе, о творческом развитии научного коллектива, о постоянном интересе руководителя к поиску нового.

Мое первое знакомство, а точнее, встреча с Сергеем Николаевичем состоялась в 1960 году. В этом году я начал работать в опытно-конструкторской лаборатории (ОКЛ) института. Эта лаборатория, которой руководили А.Г. Николаев и Ю.И. Логачев, была создана Сергеем Николаевичем для выполнения новых экспериментальных космофизических исследований. Эта первая встреча произошла так. В комнату, в которой работал А.Г. Николаев и где временно было мое рабочее место, стремительно вошел или даже вбежал человек в черном костюме с выразительным лицом и живыми пронизательными глазами. Бросив взгляд в мою сторону, сел и спросил мимоходом, кратко, отрывисто у А.Г. Николаева, кто это и какова моя специальность. Потом был деловой короткий разговор с А.Г. Николаевым, и снова стремительно Сергей Николаевич исчез из комнаты.

В 1963 году Сергей Николаевич доверил мне слежение за информацией, которую должен был дать наш прибор, установленный на станции «Луна-4». Работа заключалась в том, чтобы, находясь на пункте космической радиосвязи под Симферополем, каждую ночь принимать сигналы станции, расшифровывать и обрабатывать их, вычислять интенсивность космических лучей и регулярно пересылать эти данные в Москву. Техническая задача, поставленная нами перед радистами, заключалась в максимальном продлении связи со станцией. Наша большая заинтересованность в информации воодушевила коллектив, который сделал все возможное для продления се-

ансов связи. В Москве тщательная обработка данных показала достоверность наблюдаемых вариаций, которые, как оказалось впоследствии, соответствовали модуляции галактических космических лучей секторной структурой межпланетного магнитного поля. Следует отметить, что тогда, в первые годы начала космической эры, даже такие малые количества уникальной информации с очень простых приборов были важны и дороги для всего нашего небольшого коллектива. Сергей Николаевич своим личным примером, своим пристальным, внимательным отношением к этим экспериментам поддерживал и воспитывал в нас высокий энтузиазм, большую заинтересованность и ответственность за проведение и обеспечение всех стадий эксперимента.

Но вот в 1965 году начала поступать регулярная информация с нашего прибора, установленного на межпланетной станции «Зонд-3». Эта станция при своем движении удалялась от Солнца, перемещаясь от орбиты Земли к орбите Марса. Мне с Н.В. Переслегиной посчастливилось осуществлять получение и регулярную обработку долгожданной новой уникальной информации.

Вот в это время Сергей Николаевич и создал группу специалистов новой, только рождающейся науки – космофизики. Первоначальный состав группы: А.Г. Николаев, Ю.И. Логачев, Е.В. Горчаков, П.В. Вакулов, Н.В. Переслегина, Г.П. Любимов, которым непосредственно руководил Сергей Николаевич совместно с А.Е. Чудаковым, со временем расширился. Пришли: Б.А. Тверской, С.Н. Кузнецов, Н.Н. Контор, П.П. Игнатьев, Г.А. Тимофеев. Привлекались для расширенных обсуждений другие специалисты: С.И. Сыроватский, А.И. и Т.Н. Чарахчян, В.П. Шабанский, Н.Л. Григоров и другие.

Это был регулярный рабочий семинар. Работали много, напряженно, но увлеченно. Мы с Н.В. Переслегиной готовили к каждому собранию этой ударной научной рабочей группы текущий свежий полученный материал: графики интенсивности, выполненные прямо на рулоне миллиметровки карандашом, и все дополнительные материалы, сведения о событиях на Солнце и на Земле и все, что удалось заметить особо, найденные корреляционные связи и предлагаемую интерпретацию тех или иных событий. Все участники также готовили свои варианты интерпретации каждого нового участка информации, готовили научные сообщения по необходимым для анализа данных смежным вопросам, делали реферативные сообщения по зарубежным публикациям.

Так проходило взаимное обогащение знаниями, опытом, идеями, формировалось коллективное научное творчество. Так начала работать школа космофизиков, в которую вливались новые ученики и учителя. Учились все, учились друг у друга, но главным учителем, организатором и вдохновителем был Сергей Николаевич с его неукротимой, неугасаемой энерги-

ей, с его умением сплотить и зажечь разнообразный коллектив. Работать было интересно, но трудно. Работали, не считаясь со временем и личными делами, но Сергей Николаевич тем не менее не ослаблял своего контроля и требовательности, лично следил за выполнением отдельных этапов научной и производственной (экспериментальной и организационной) деятельности. Такая организация научного руководства прекрасно сплачивала и весь инженерно-технический коллектив.

Это воздействие школы Сергея Николаевича я ощущаю очень ясно, может быть, еще и потому, что, пройдя школу Отечественной войны и школу радиофизическую у П.Е. Краснушкина и Р.В. Хохлова, решился поменять специальность и стал учиться с увлечением у Сергея Николаевича и его коллег, его последователей и его учеников. Эти воспоминания становятся особенно отчетливыми с течением времени, когда уже нет Сергея Николаевича и когда память выстраивает события и встречи в картину жизненной ретроспективы.

После первой пробы сил и тесной совместной работы над информацией с «Зонда-3» пошли данные с «Венеры-2, 3». Обработка этих данных позволила Ю.И. Логачеву впервые получить точное значение радиального градиента галактических протонов с энергией больше 30 МэВ в окрестности 1 астрономической единицы (а. е.).

Вспоминается, как Сергей Николаевич, А.Е. Чудаков и я писали и редактировали статью о результатах, полученных на станциях «Зонд-3» и «Венера-2, 3». Это происходило в течение двух дней на даче А.Е. Чудакова. Мы с Сергеем Николаевичем приезжали туда утром на машине, садились за маленький столик в саду, обсуждали результаты, дискутировали, писали, ходили по дорожкам и опять оттачивали лаконичный текст коротких статей в «Доклады АН СССР». Были солнечные дни, яркая зелень, цветы; приятно работалось, формировались новые представления, новые знания; нас угощали вкусным простым домашним обедом.

Деловые поездки на машине с Сергеем Николаевичем также были содержательны. Шел разговор о стратегии и тактике во время предстоящего визита, еще раз обсуждались научная задача и методика предстоящего эксперимента или его главные результаты. Так как времени на обед обычно не хватало, то Сергей Николаевич во время разговора съедал плитку шоколада, и эту практику я принял для себя.

Новый важный эксперимент – станция «Луна-9». Станция «Луна-9» – это первая мягкая посадка, первая панорама лунного ландшафта и первая проба радиации на Луне нашим простейшим прибором со счетчиком СТС-5. Но этот простейший прибор показал отсутствие захваченной радиации, а виртуозный расчет Ю.И. Логачева, и опять впервые, дал оценку корпускулярного альbedo и обнаружил, что радиоактивность Луны не превосходит земную.

Школа космофизиков

С.Н. Вернов создал специальный рабочий семинар, который со временем расширялся и стал школой космофизиков в институте. Потом С.Н. Вернов создал зимние школы союзного масштаба в Апатитах и международные семинары в Ленинграде.

Созданная С.Н. Верновым школа дала очень много для отечественной космофизики. Это не только сотрудники института, студенты, дипломники и аспиранты Отделения ядерной физики физического факультета МГУ, но это и сотрудники ряда научно-исследовательских институтов, других вузов страны, институтов АН СССР. С.Н. Вернов уделял большое внимание развитию науки в других регионах страны и особенно в удаленных, в других республиках Союза.

Школа космофизиков нашего института – это только часть громадной организаторской и воспитательной деятельности Сергея Николаевича.

Научная стратегия С.Н. Вернова была направлена на объединение разных знаний: магнитосфер планет и гелиосферы Солнца, внедрения результатов непосредственных измерений в космосе в теорию и практику солнечно-земных связей и в другую прикладную науку.

В первые годы космической эры было много международных форумов. С.Н. Вернов активно участвовал в их работе. У него были обширные международные связи, он получал большое количество научных публикаций от своих коллег из-за рубежа. Все это раздавалось нам, изучалось и обсуждалось на семинарах. Были визиты известных иностранных ученых (хотя тогда это общение не поощрялось). С.Н. Вернов всегда с большим достоинством проводил эти встречи: показывал нашу простую, кустарную, но надежную аппаратуру, наших замечательных специалистов, выделял преимущества нашей техники и методики, наши новые результаты. С.Н. Вернов был патриотом нашей отечественной науки, хотя при этом очень уважал и ценил успехи иностранных коллег.

Все научные публикации обсуждались на семинарах и проходили весьма требовательную коллективную экспертизу. Однако С.Н. Вернов всегда был внимателен к особым мнениям и проявлял терпимость к новым идеям. Главным условием была наблюдательная достоверность, надежность экспериментальных данных. Все это относилось и к апробации диссертаций. С.Н. Вернов не способствовал присвоению ученых степеней без публичной защиты. Он, вероятно, считал, что и процесс оформления работы, и защита, несмотря на чрезвычайную загруженность соискателя, несут несомненную пользу и соискателю и руководителю, их достоинству и качеству работы. В неоднозначных или деликатных ситуациях С.Н. Вернов составлял собственное мнение, приглашая сотрудника на личную беседу.

К поиску и познанию новой информации

Мы начинаем рассказ об исследовании межпланетного пространства с того момента, когда пошла уверенная информация с АМС «Зонд-3», а через пять месяцев, в ноябре 1965 года стартовали АМС «Венера-2, 3». Совместный полет трех станций окончился в январе 1966 года. Во время этих одновременных измерений и при движении станций в разные стороны от орбиты Земли с одинаковой аппаратурой удалось определить радиальный и спиральный градиенты интенсивности галактических космических лучей. Изучение отдельных вариаций интенсивности галактических и солнечных космических лучей показало зависимость их параметров от времени и гелиоцентрических координат. В октябре 1965 года удалось зарегистрировать первое возрастание СКЛ протонов с энергией 1–5 МэВ и более 30 МэВ от сильной солнечной вспышки.

Следующий важный этап в методике эксперимента и в развитии модельных представлений о распространении солнечных космических лучей связан с полетом АМС «Венера-4» в 1967 году. На этой станции удалось установить два детектора протонов с энергией 1–5 МэВ и ориентировать их вдоль оси вращения станции, направленной на Солнце, и в противоположную сторону. Такая методика позволила измерять анизотропию потока солнечных космических лучей в двух главных направлениях: от Солнца и к Солнцу.

После вспышки 1 августа, произошедшей в западной части диска Солнца, наблюдалась анизотропия 96% в течение 16 часов, обратный поток повторял форму прямого, но отставал по фазе, что указывало на групповое отражение от зеркала, расположенного за детектором. Спустя шесть лет в сентябре 1973 года на АМС «Марс-4, 5, 6» была более детально изучена аналогичная ситуация в диапазоне энергий 1–500 МэВ. Удалось показать существование системы корональных и межпланетных петель, соединяющих активные области обоих полушарий Солнца. Коллимированное движение солнечных космических лучей по ним обусловило наблюдение длительной знакопеременной анизотропии.

Другой, противоположный феномен наблюдался на «Венере-4» после серии из трех вспышек в восточной части диска Солнца. В этом случае три импульса солнечных космических лучей наблюдались одновременно с тройным Форбуш-эффектом в галактических космических лучах, запаздывающим на 1–3 дня относительно солнечной вспышки. В других, последующих случаях также наблюдались значительные потоки солнечных космических лучей вплоть до энергии 500 МэВ, совместно с Форбуш-эффектами в галактических космических лучах.

Третий результат, который очень интересовал С.Н. Вернова, – торможение в солнечном ветре вспышечных выбросов с ударными волнами. Этот

интерес был вызван не только самим феноменом и его большой величиной, но и возможностью ускорения частиц в области фронта волны за счет перекачки энергии взаимодействия выброса со средой в ускорительный процесс.

Космические исследования и планета Венера

В 1761 году М.В. Ломоносов наряду с астрономами всего мира наблюдал весьма редкое явление – прохождение Венеры по диску Солнца. Результаты своих наблюдений он изложил в речи под названием «Явление Венеры на солнце, наблюденное в Санкт-Петербургской Имп. Академии наук мая 26 дня 1761 года». Там было сказано:

...планета Венера окружена знатною воздушною атмосферою, таковою (лишь бы не большею), какова обливается около нашего шара земного. Ибо во первых перед самым вступлением Венеры на солнечную поверхность потеряние ясности в чистом солнечном крае значит как видится вступление Венериной атмосферы в край солнечной... При выходе Венеры прикосновение ея передняго края произвело выпуклость. Сие ничто иное показывает, как преломление лучей солнечных в Венериной атмосфере.

Так задолго до специалистов М.В. Ломоносов открыл плотную атмосферу у Венеры. Лишь через 30 лет атмосферу вторично открыл Гершель, а спектральные наблюдения были сделаны через 100 лет после открытия М.В. Ломоносова. Непосредственное изучение планет стало возможным лишь после запуска в нашей стране первого искусственного спутника Земли.

В НИИЯФ МГУ многие годы ведутся прямые космофизические эксперименты по зондированию межпланетной среды, по изучению космической радиации у планет Солнечной системы, и в частности связанные с планетой Венера, у которой М.В. Ломоносов еще 242 года назад открыл наличие плотной атмосферы.

Первое свидание с Венерой состоялось в 1967 году. Автоматическая межпланетная станция (АМС) «Венера-4» в составе научной аппаратуры несла к планете и наш прибор. Он должен был ответить на вопрос: есть ли у Венеры радиационные пояса заряженных частиц, аналогичные поясам, которые были открыты у Земли?

Четыре месяца станция «Венера-4» двигалась в космосе к планете Венера. Наш прибор все это время работал, он измерял потоки космических лучей. Эти измерения были важны сами по себе (и мы об этом расскажем далее), но они были необходимы и для успешной работы станции, и для точного ответа на вопрос о существовании захваченной радиации у Венеры.

Необходимо было на фоне потоков галактических и солнечных космических лучей заметить дополнительный поток частиц, захваченных магнитным полем Венеры.

Накануне волнующего события посадки спускаемого аппарата на поверхность Венеры в Евпаторию, на пункт дальней космической радиосвязи, прибыл Сергей Николаевич с группой самых опытных космофизиков (А.Е. Чудаков, А.Г. Николаев, Ю.И. Логачев, Е.В. Горчаков, П.В. Вакулов, Н.Н. Контор) с целью оперативного анализа и точного заключения о наличии захваченной радиации у Венеры во время подлета станции к планете.

Этому событию предшествовала четырехмесячная напряженная работа над регулярными данными с нашего прибора во время всего периода полета станции. На этом приборе впервые были поставлены парные детекторы, смотрящие на Солнце и от него, что давало возможность измерять анизотропию потока частиц вдоль этого направления. Итак, предстоял заключительный этап.

Ночь перед сеансом связи мы провели с Сергеем Николаевичем вместе в номере гостиницы на территории пункта дальней космической радиосвязи. Мы обсудили план предстоящей работы, возможные ее детали, особенности и трудности; Сергей Николаевич принял снотворное, чтобы хорошо выспаться и иметь к утру высокую работоспособность.

И вот мы на ногах. Раннее утро. На еще темном и исключительно чистом небе ослепительно ярко сияет Венера. На нее нацелены гигантские антенны, на них горят красные габаритные фонари, слышен шум моторов следящей системы. Все занятые в сеансе необычайно настроены, торжественно одеты, взволнованны, полны радости ожидания, предельно собраны.

С расстояния 40 тыс. км от планеты начался подлетный сеанс. Передатчики станции переключены на остронаправленную антенну и работают в режиме высокой скорости передачи информации, измерения на борту станции производятся каждые семь секунд. Станция стремительно приближается к планете, падает на нее.

У самописца, из которого бежит бумажная лента, стоят специалисты по трем основным, связанным параметрам межпланетной среды – плазме солнечного ветра, межпланетному магнитному полю и космическим лучам. Наша группа (Н.В. Переслегина, Н.Н. Контор, Г.П. Любимов) по четкому плану выполняет заранее распределенные операции, заменяя ЭВМ. Мы выхватываем взглядом с ленты символы, почти в темпе их поступления определяем скорость счета детекторов прибора, а точнее, отклонение от нормального фона, записываем данные и периодически докладываем руководству о состоянии радиации.

Но вот сеанс окончен – сигнал пропал: станция развернулась в атмосфере планеты и Земля вышла из диаграммы направленности антенны. Станция сгорела в плотной атмосфере Венеры. И лишь спускаемый аппа-

рат продолжал падение и передавал новую, уникальную информацию о планете Венера через свой передатчик. Затем и он был раздавлен огромным давлением у поверхности горячей планеты.

Захваченной радиации у планеты Венера мы не обнаружили, сообщение ТАСС отправлено, все покинули пункт связи, но С.Н. Вернов не успокоился. Он собрал всю оперативную группу НИИЯФ. Нашел пустой большой зал с длинными столами, на которых все мы, разделив между собой громадное количество рулонов бумаги с записью припланетного сеанса, приступили вновь к тщательному поиску. Кадр за кадром, по всем семи измеряемым параметрам, искали малейшие отклонения от нормального космического фона, которые могли бы указать на особенности при наличии захваченных частиц. Так мы работали много часов подряд, пока точно не убедились в правильности нашего оперативного заключения. Планета Венера не имела радиационных поясов – этот результат согласовался и с отсутствием у нее достаточного для удержания заряженных частиц магнитного поля, и с чрезвычайно медленным вращением планеты вокруг своей оси, и с особенностями обтекания солнечным ветром ее плазмосферы.



Обсуждение данных «Венеры-4»

Потом был общий банкет, мы сидели в нашей дружной компании, вспоминали разные события, ели, пили вино, шутили. Сергей Николаевич попросил принести бутылку «Хереса», попробовали, обсудили особенности его состава и приготовления. Так я впервые узнал это особенное и очень понравившееся мне вино, и с тех пор при случае покупаю его.

С планетой Венера связано 10 экспедиций 17 АМС от «Венеры-2, 3» (1966) до «Венеры-15, 16» (1983–1985) и «Веги-1,2» (1984–1986). На станциях «Венера-15, 16» и «Вега-1, 2» прибор смог смотреть на Солнце с его обратной (по отношению к Земле) стороны, так как эти станции за время своей работы совершили целый оборот вокруг Солнца. Таким образом, наш прибор «видел» вспышки, которые не были видны с Земли.

Путь неустанного поиска

С планетой Марс связаны две экспедиции из пяти станций от «Марс-2» (1971) до «Марс-4, 5, 6, 7» (1973). На этих станциях одновременно регистрировалась тонкая структура межпланетной среды с масштабом примерно 1 млн км.

Эксперименты на 10-ти лунных станциях: «Луна-4» (1963), «Луна-5, 6, 7, 8» (1965), «Луна-9» (1966); лунные спутники: «Луна-19» (1966) и «Луна-22» (1974) и самоходные аппараты на Луне: «Луноход-1» («Луна-17», 1970) и «Луноход-2» («Луна-21», 1973). Наш прибор во время этих экзотических экспедиций работал в условиях огромного перепада температур между лунным днем и лунной ночью, а при движении по поверхности Луны чувствовал рельеф местности за счет экранировки прибора от космического излучения при заезде в лунные кратеры.

Таким образом, всего было более 30 экспериментов, не считая нескольких спутников Земли и межпланетных зондов. Наша аппаратура, в отличие от специализированной научной аппаратуры, обладает весьма скромными установочными данными (масса от 0,5 до 3 кг). Она проста и надежна. В ней используются простые однотипные счетчики заряженных частиц, что позволяет получать однородный ряд данных.

Сейчас первичная обработка информации автоматизирована, в аппаратуру устанавливаются микропроцессоры, они позволяют частично управлять экспериментом. Но тем не менее космическая специфика сохраняется. Приборы должны обладать высокой надежностью: ведь прибор в полете недоступен, а информация всегда будет уникальной: она всегда получается в новом месте космического пространства и в новое время.

Эксперименты на АМС принесли много новых научных результатов.

Последние встречи

Выступая на всесоюзном и международном уровнях, С.Н. Вернов представлял все новые научные достижения всего коллектива космофизиков. Ощущалось постоянное внимание к работе. Чтобы следить за всем новым, поощрять инициативу и выделять интересные результаты и идеи, Сергей Николаевич кроме общих семинаров эпизодически назначал встречи и приглашал в кабинет, где просил рассказывать прямо у доски о новых данных и результатах, о планах и идеях дальнейших исследований.

Вспоминается эпизод, связанный с космофизической школой в Апатитах. Ехали мы туда на поезде в купе вместе с Сергеем Николаевичем. Купе было набито нинияфовцами, обсуждали различные проблемы, говорили на разные темы, пили чай. Все были увлечены разговором, вещи не собраны. За окном

публикуется здесь. В этом письме – высокая требовательность к надежности научного результата, поразительное умение выделить главное и лаконичность. Все это сочетается с исключительной доброжелательностью и тактом в обращении, с незримым, но осязаемым и известным мне теплом отношения. Позже, во время сессии КОСПАР, которая проходила в 1970 году в Ленинграде и на которой присутствовал упомянутый в письме мой оппонент Хундхаузен, Сергей Николаевич организовал специальное обсуждение – дискуссию по этому вопросу с Хундхаузенем и пригласил на нее Р.З. Сагдеева.

Вспоминается еще одна встреча в Ереване, во время конференции, на квартире у родственников Сергея Николаевича. Там он с большим пристрастием обсуждал волнующие его вопросы, изложенные в моей диссертации в преддверии ее защиты, вероятно, чтобы быть лично уверенным в надежности работы и в квалификации ее автора. Ведь это он предложил мне писать диссертацию и направил на путь ее защиты.

И вот последняя встреча здесь, в университете, в его квартире, в башне Главного здания. Обсуждали некоторые организационные дела, он подписал ряд бумаг. Позвонили в дверь (он ждал, были собраны вещи), вошел шофер «Волги», которая пришла за ним, чтобы отвезти его в «кремлевку» для лечения. Он надевал пальто, прощался с Тamarой Васильевной и продолжал говорить со мной (не отпускал) опять о науке – затронули тему консерватизма в ней. Сергей Николаевич сказал задумчиво, что сожалеет о существовании этого явления. Мы спустились к машине. Был солнечный день. Больше мы не встретились.

С.Н. Вернов, будучи директором, не имел в административном подчинении своих научных подразделений, и это, наверное, также способствовало созданию крепкого научного коллектива, успеху дела. Сергей Николаевич всегда советовался и в административных делах, а при разногласии не диктовал, а убеждал в необходимости принимаемого им решения.

Сергей Николаевич бережно относился к воспитанию научных кадров. Ему была свойственна исключительная деликатность в обращении. На семинарах и даже в частных беседах никогда не было насмешки, все воспринималось серьезно, исключительно с целью понять собеседника. Явные ошибки и непонимание предмета не акцентировались. Но Сергей Николаевич умел как бы невзначай, специально подобрав подходящий пример или повторяя и четко записывая все необходимые выкладки, поясняя их вслух, как бы для себя, тем не менее сделать так, чтобы ты сам заметил свою ошибку. Эти были со мной в его кабинете, когда я сделал грубую ошибку в определении энергетического спектра частиц. Сергей Николаевич всегда активно вел семинары, поражая глубиной вопросов при их кажущейся простоте. Он требовал обязательного посещения и был и в этом абсолютно прав.

Основное внимание в космическом эксперименте Сергей Николаевич придавал изучению межпланетной среды и связей с солнечной активностью. И эта стратегия осуществлялась неуклонно совместно с изучением радиационных поясов Земли и земной магнитосферы. Больших усилий стоило Сергею Николаевичу постоянное внедрение нашей аппаратуры на дальние космические станции. Свой научный интерес к проблемам изучения солнечных и галактических космических лучей, к загадкам солнечной активности Сергей Николаевич сохранял до конца своей жизни. И в последние годы он просил меня постоянно информировать его о новых данных, приносить отписки и препринты об исследованиях межпланетной среды и солнечной активности, делился своими соображениями по этим проблемам.



«Космос и Разум»
(картина Н.В. Переслегиной)

Simplex sigillum veri

(Простота – это признак истинности).

Эволюция происходит в направлении
все увеличивающейся простоты логических основ.

Воображение важнее знания. Знание ограничено.

Воображение объемлет весь Мир.

А. Эйнштейн

2. Космические лучи в гелиосфере

Вступление

Начиная эту статью, необходимо выделить главные особенности научного творчества С.Н. Вернова как личности и как организатора и руководителя научной школы. Его стратегия в поиске Нового и методы научной дискуссии будут примером для воспитания молодых ученых и для эффективного, творческого учебного процесса. До встречи с С.Н. Верновым мне довелось воспринять опыт общения с несколькими крупными учеными в области радиофизики и астрофизики. Думаю, что это способствовало более глубокому проникновению в космическую физику С.Н. Вернова.

Изложение статьи предусматривает хронологическую и причинно-следственную формы с целью показать эффективность выбранного С.Н. Верновым творческого процесса для поиска нового.

Начало «прямых» экспериментов в гелиосфере

После открытия радиационных поясов Земли главным направлением научной стратегии С.Н. Вернова стало исследование космических лучей вне магнитосферы Земли, в межпланетном пространстве. Этот приоритет был основан на глубоком понимании определяющей роли солнечной активности и процессов в гелиосфере, для распространения и модуляции солнечных и галактических космических лучей и явлений в магнитосфере Земли. Полеты АМС к Венере, к Марсу, к Луне давали возможность использовать многомесячное движение станций по траектории полета к конечной цели для измерений характеристик космических лучей. С.Н. Вернов считал, что для надежного эксперимента основным детектором должен быть простой газоразрядный счетчик. Под защитой оболочки станции он регистрировал протоны с энергией больше 30 МэВ и электроны с энергией свыше 2 МэВ. При отсутствии солнечных вспышек прибор был чувствительным детектором ГКЛ (в 2–7 раз эффективнее полярных наземных станций), а при вспышках на Солнце регистрировал возрастания солнеч-

ных космических лучей. Другим простым и надежным детектором был полупроводниковый диод, который позволял при его установке вне гермоотсека станции регистрировать протоны с энергией 1–5 МэВ. Такое сочетание детекторов обеспечивало весьма широкий энергетический диапазон для солнечных космических лучей (1–100 МэВ) и высокую эффективность (чувствительность) по сравнению с наземными и даже со стратосферными измерениями. А одновременная регистрация вариаций солнечных и галактических космических лучей позволяла иметь косвенные, но ценные сведения о вариациях межпланетного магнитного поля и несущего его солнечного ветра. Впоследствии эта методика привела к созданию направления диагностики межпланетной среды (гелиосферы), а через нее и диагностики некоторых процессов солнечной активности.

В 1963 году Сергей Николаевич организовал слежение за информацией, которую должен был дать наш прибор, установленный на станции «Луна-4». Тщательная обработка данных показала достоверность наблюдаемых вариаций, которые, как оказалось впоследствии, соответствовали модуляции галактических космических лучей секторной структурой межпланетного магнитного поля. Следует отметить, что еще с 1958 года, используя короткие (несколько дней) полеты, С.Н. Вернов начал строить и изучать 11-летний ход галактических космических лучей по данным одиночного газоразрядного счетчика («Луна-1, 2, 4–8»; «Марс-1»; «Зонд-1, 2»). Но вот в 1965 году начала поступать регулярная информация с нашего прибора, установленного на АМС «Зонд-3». Эта станция при своем движении удалялась от Солнца, перемещаясь от орбиты Земли к орбите Марса. Далее начали полет станции «Венера-2» и «Венера-3». В это время Сергей Николаевич создал регулярный рабочий семинар по обсуждению полученных данных. Главные результаты были получены в 1967 году со станции «Венера-4», на которой были установлены два детектора для измерения анизотропии солнечных космических лучей.

Основная задача поиска – распространение солнечных космических лучей

Хотелось увидеть солнечные космические лучи от солнечной вспышки в межпланетной среде для протонов с энергией 1–5 МэВ и больше 30 МэВ. Но вспышки долго не было, а детектор протонов с энергией 1–5 МэВ регистрировал непрерывные вариации потока. Их уровень значительно превышал фон, а форма возрастаний была весьма разнообразна. Эти вариации потока солнечных космических лучей были в противофазе с вариациями галактических космических лучей. Следует сразу отметить, что эти вариации галактических космических лучей не наблюдались наземными и стратосферными станциями. Они отличались от Форбуш-понижений и по амплитуде (менее 5%), и по форме. Эти непрерывные цепочки понижений имели постепенное

начало. Было сделано предположение, что источником таких вариаций солнечных космических лучей могли быть малые вспышки, вспышки за лимбом Солнца, локальные возрастания яркости хромосферы, квазистационарные активные области. Но вот 4 октября 1965 г. газоразрядный счетчик «увидел» вспышку протонов с энергией более 30 МэВ с амплитудой 20%. Ее форма и другие параметры соответствовали принятой тогда диффузионно-конвективной модели для распространения солнечных космических лучей высоких энергий. Однако это первое вспышечное возрастание солнечных космических лучей показало много нового. Наблюдался вторичный максимум и заполнение Форбуш-понижения солнечными космическими лучами. Возрастание протонов с энергией 1–5 МэВ превысило фон в 5 раз и длилось 4 дня. Нарастание потока было задержано относительно протонов с энергией больше 30 МэВ на 6 часов и носило нелинейный характер. Форма спада была нерегулярна. Показатель интегрального энергетического спектра на интервале длительности потока протонов с энергией больше 30 МэВ (примерно 20 часов) менялся от $-0,5$ до $-0,9$ (в максимуме $-0,6$). По моментам Форбуш-понижения на АМС и внезапным началам магнитных бурь на Земле были определены средние скорости движения ударной волны и ее сильное торможение. Первый эксперимент дал еще один важный и новый результат. АМС «Зонд-3» удалялась от орбиты Земли и от Солнца, а АМС «Венера-2, 3», удаляясь от Земли, приближались к Солнцу. На участке одновременного полета удалось измерить с высокой точностью радиальный и спиральный градиенты галактических космических лучей.

Одновременный полет АМС «Зонд-3» и «Венера-2, 3» в разные стороны от орбиты Земли позволил впервые измерить радиальный и спиральный градиенты с высокой точностью $\pm 0,4\%$ для галактических протонов с пороговой энергией 30 МэВ. Они составили на 1 а. е. 3,6 и 5,8% соответственно. Здесь следует отметить введение новых понятий «спиральный градиент» и «спиральная скорость». Спираль Архимеда определяет форму линий межпланетного магнитного поля, и заряженные частицы солнечных и галактических космических лучей подчиняются движению вдоль поля. Поэтому топология межпланетной среды есть «спиральность».

Результатом эксперимента по исследованию космических лучей на станции «Луна-9», совершившей мягкую посадку на лунную поверхность в 1966 году, было открытие радиоактивности лунной поверхности. Если сравнить потоки космических лучей в открытом космосе и на поверхности Луны, где поле зрения прибора уменьшено в два раза из-за экранировки прибора телом Луны, то окажется, что потоки уменьшились только в 1,6 раза, а не в два раза, как следовало ожидать, если бы не было радиоактивности лунной поверхности и частиц альбеда космических лучей. Учет этих факторов позволил определить радиоактивность лунной поверхности, которая оказалась близкой к радиоактивности земного грунта.

Зеркало для солнечных космических лучей

Первые эксперименты и полученные новые результаты показали, что в дальнейшем необходимо измерять анизотропию потока солнечных космических лучей для определения направления движения заряженных частиц в гелиосфере. Основанием стала и фундаментальная работа «The Collimation of Cosmic Rays by the Interplanetary Magnetic Field»¹, в которой на основе эксперимента на АМС было показано, что существуют две популяции солнечных космических лучей. Одна из них движется вдоль межпланетного магнитного поля (от Солнца и к Солнцу), другая – с солнечным ветром радиально от Солнца. Поэтому на АМС «Венера-4» были установлены два одинаковых детекторных блока, которые измеряли потоки солнечных космических лучей в двух направлениях – от Солнца и к Солнцу. Полупроводниковые счетчики измеряли поток протонов с энергией 1–5 МэВ, а торцовые газоразрядные счетчики – поток электронов с энергией больше 100 кэВ. При своем движении АМС вращалась, но сохраняла ориентацию оси, направленной на Солнце.

Следующая информация с АМС «Венера-4» дала основные фундаментальные результаты о движении и накоплении солнечных космических лучей.

После вспышки в западной части диска Солнца протоны с энергией 1–5 МэВ пришли к детектору со скоростью соответствующей их кинетической энергии и с анизотропией +96%. Импульсы солнечных космических лучей идущие от Солнца и к Солнцу, по своей форме были подобны. Но обратный поток (к Солнцу) наблюдался позже на 4 часа, чем прямой поток (от Солнца). Эти данные показали, что солнечные космические лучи двигались без рассеяния и за детектором отразились от некоторого полупрозрачного зеркала с коэффициентом отражения 0,1, расположенного на расстоянии 1,5 а. е. от Солнца.

Другая часть солнечных космических лучей переносится от Солнца во вспышечных выбросах плазмы за ударной волной. Эта часть общего потока, ускоренного во вспышке, создает вторичный источник, который движется со скоростью вспышечного выброса плазмы. Поскольку эта часть солнечных космических лучей заключена в ловушке, которая движется медленно со скоростью плазмы, их анизотропия будет мала. Эксперимент показал, что при прохождении такой ловушки малая положительная анизотропия (+20%) меняется на малую отрицательную (–20%). Ловушка испускает солнечные космические лучи вперед и назад, а точнее, через свой фронт, который (как было показано позже) соответствует кардиоиду. В одной из вспышек поток

¹ *Mc Cracken K.G., Ness N.F. The Collimation of Cosmic Rays by the Interplanetary Magnetic Field // J. Geophysics. Res. 1966. Vol. 71. N 13, P. 3315.*

протонов с энергией больше 30 МэВ был перенесен в такой ловушке (на фоне Форбуш-понижения) и составил 25% от фона галактических космических лучей (при усреднении за 12 часов). Следует добавить, что это наблюдение однозначно закрыло ошибочное представление о магнитосферном происхождении такого рода искажений Форбуш-понижений.

В этой части исследований были сделаны следующие выводы.

- Диффузионное движение солнечных космических лучей не эффективно, преобладают движение ведущего центра вдоль межпланетного магнитного поля с малым рассеянием и дрейфовые движения к западу («снос»).
- Наблюдается групповое отражение солнечных космических лучей от полупрозрачных «зеркал», расположенных за орбитой Земли.
- Обнаружен перенос солнечных космических лучей во вспышечных выбросах плазмы с ударными волнами. Такой вторичный источник имеет более мягкий энергетический спектр и значительно увеличивает время жизни частиц, ускоренных во вспышке.
- Обнаружено сильное торможение вспышечных ударных волн, пропорциональное их начальной скорости.
- Амплитуда Форбуш-понижений уменьшается с удалением от Солнца и от направления вспышки. Перед Форбуш-понижением существует нелинейный участок медленного «предпонижения» 0,5–1,0%.
- Обнаружено нарастающее накопление фона рассеянных солнечных космических лучей на расстояниях больше 2 а. е.

Дальнейшие эксперименты и накопление результатов

Фундаментальный результат был получен при полете АМС «Марс-4, 5, 7» в 1973 году. От вспышки в западной части диска Солнца, но в южном полушарии была зарегистрирована отрицательная анизотропия. Впервые по ходу анизотропии солнечных космических лучей на трех автоматических станциях «Марс» были обнаружены дискретные петли межпланетного магнитного поля размером до 6 а. е. Эти петли были вытянуты солнечным ветром из активных областей Солнца, в одной из которых произошла вспышка, заселившая их солнечными космическими лучами. Характерные размеры дискретности трубок, образующих петли, были равны 10^6 км, или 1 градусу, или 1 часу.

Следует добавить, что позже, в 1984 году, нами были обнаружены непосредственно в солнечном ветре и в межпланетном магнитном поле дискретные дублетные и мультиплетные структуры. Их основу составляли магнитные трубки (минимум поля на оси). Далее анализ вспышки 19 марта 1990 г. на ИСЗ «Гранат» позволил обнаружить пучки таких трубок (названных нами «меандр») с характерным размером $(0,5-2) \cdot 10^6$ км и с мини-

мальным $0,03 \cdot 10^6$ км на 1 а. е. Здесь следует подчеркнуть, что эти структуры солнечного ветра и межпланетного магнитного поля являются квазистационарными образованиями. Они существуют всегда, непрерывно вытягиваются солнечным ветром и не связаны со вспышками. Вспышечные структуры имеют другую топологию.

Результаты 1973, 1984 и 1990 годов стали основанием для создания новой модели солнечного ветра и межпланетного магнитного поля – «восходящий поток», «отражательной» модели распространения и накопления солнечных космических лучей и определения квазистационарных локальных солнечных радиационных поясов в гелиосфере.

Замедление ударных волн

Возвратимся к первым результатам и более полно рассмотрим торможение вспышечных поршневых ударных волн. На наших первых АМС не было приборов для регистрации разрывов в солнечном ветре и межпланетном магнитном поле. На Земле магнетометры регистрировали внезапные начала магнитных бурь, а станции нейтронных мониторов регистрировали начала Форбуш-понижений галактических космических лучей от сильных солнечных вспышек. В ряде работ по данным ИСЗ было показано, что момент внезапного начала бури соответствует прохождению фронта ударной волны.

Как было сказано выше, наша аппаратура регистрировала Форбуш-понижения в несколько раз эффективнее, чем на Земле. Нам было интересно определять средние скорости движения вспышечных выбросов плазмы с ударными волнами, особенно при их регистрации в нескольких точках. Мы уже выше упоминали о зависимости амплитуды Форбуш-понижений от расстояния от Солнца и от направления вспышки (по долготе). Кроме того, было известно о замедлении расширения оболочек после взрывов звезд. И мы стали регулярно собирать данные и вычислять скорости движения вспышечных выбросов плазмы. Данные о квазистационарных Форбуш-понижениях от квазистационарных потоков плазмы образовали другую группу с большим рассеянием.

При двух точках регистрации вычислялись средние скорости движения до каждой из точек и средняя скорость между точками. В некоторых случаях были данные о мгновенных скоростях в точках измерения. По радиоизлучению второго типа можно было иметь представление о начальной скорости. Зависимость замедления от начальной скорости оказалась квадратичной для вспышечных выбросов плазмы.

С.Н. Вернов уделил большое внимание этому результату. Даже будучи в отпуске, он просил выслать ему работы по этой теме и предложил новое свое объяснение сильного торможения за счет преобразования части энергии ударных волн в процесс дополнительного ускорения солнечных косми-

ческих лучей в межпланетной среде. Во время Международного симпозиума по солнечно-земной физике в Ленинграде С.Н. Вернов организовал специальную дискуссию на эту тему с основным оппонентом из США, известным теоретиком А. Хундхаузенем (A.J. Hundhausen). Были приглашены Р.З. Сагдеев, Б.А. Тверской и другие специалисты, и оппонент был вынужден признать свое поражение.

Впервые было обнаружено сильное торможение ударных волн от солнечных вспышек в солнечном ветре, пропорциональное квадрату относительной скорости. Торможение квазистационарных потоков солнечного ветра было пропорционально первой степени относительной скорости. Дополнительно была найдена скорость спокойного солнечного ветра, равная 200 км/с, которая и вычиталась из средней скорости для получения относительной скорости. Полученные зависимости показывают, что движение квазистационарных и вспышечных потоков плазмы в солнечном ветре аналогично движению обтекаемого тела в вязкой жидкости или газе. Струи или выбросы замагниченной бесстолкновительной плазмы при движении не перемешиваются, но деформируются за счет упругости и нагреваются за счет вязкости. Явление легло в основу исследований в области космической газодинамики. Крупный теоретик из США М. Драйер (Murray Dryer) активно принял наш результат. Он приехал в Москву для обсуждения и создал специальную международную рабочую группу STIP (Study of Travelling Interplanetary Phenomena) для сбора и мониторинга всей информации (связанной с солнечными вспышками) с космических станций и комет в гелиосфере.

Модуляция космических лучей

Выше было сказано о построении и изучении 11-летнего хода галактических космических лучей для протонов с энергией больше 30 МэВ. Увеличение частоты и продолжительности возрастаний солнечных космических лучей в космических экспериментах позволило начать строить и изучать долговременный ход солнечных космических лучей. Впервые нами было начато изучение хода потока солнечных космических лучей в связи с ходом уровня солнечной активности. Для этого были использованы данные о протонах с энергией 1–5 МэВ, электронов с энергией более 0,1 МэВ и протонов с энергией больше 30 МэВ. Но наиболее достоверный и протяженный ряд данных относится к протонам солнечных космических лучей с энергией 1–5 МэВ. Были использованы потоки частиц, усредненные за время функционирования (несколько месяцев) космических аппаратов: «Зонд-3», «Венера-2–8», «Марс-2–7», «Луна-19, 22», «Луноход-1, 2». Изучение связей между уровнем солнечной активности (число пятен R_z) и потоком протонов в 20-м цикле солнечной активности показало, что существует прямая связь между ло-

гарифмом потока протонов солнечных космических лучей и числом пятен: $\lg N = 0,02 Rz$. Самые большие отклонения от этого соотношения наблюдались при 50%-х уровнях солнечной активности на фазах роста и спада активности и достигали $\pm 0,5$ порядка величины. Среднеквадратичное отклонение от этой величины составило $\pm 30\%$ (для логарифма потока).

Эпилог от М.В. Ломоносова

Все динамические процессы, наблюдаемые в межпланетной среде, в атмосферах планет, в кометных хвостах, обусловлены различными проявлениями солнечной активности. Сама межпланетная среда есть продолжение солнечной атмосферы, которая, расширяясь, образует гелиосферу, находящуюся в динамическом равновесии с межзвездной средой. Грандиозные процессы солнечной активности, не разгаданные до сих пор, М.В. Ломоносов удивительно образно и глубоко проникновенно отразил в стихах:

*Когда бы смертным толь высоко
Возможно было возлететь,
Чтоб к солнцу бренно наше око
Могло приблизившись воззреть;
Тогда б со всех открылся стран
Кипящий вечно океан.
Там огненны валы стремятся
И не находят берегов;
Там вихри пламенны крутятся,
Борючись множество веков:
Там камни, как вода, кипят,
Горящи там дожди шумят.*

Пристальное познание Природы, начатое М.В. Ломоносовым, мы продолжаем здесь, в университете, носящем его имя, продолжаем внимательно вглядываться в космос, в его тайны, учимся этой удивительной способности у Ломоносова.

2009 год

ВОСПОМИНАНИЯ О СЕРГЕЕ НИКОЛАЕВИЧЕ ВЕРНОВЕ

И.В. Гецелев

В предлагаемой статье делается попытка описать свои впечатления о некоторых сферах деятельности академика Сергея Николаевича Вернова, которые, на мой взгляд, не нашли должного отражения в многочисленных публикациях, посвященных ему. Выводы сделаны на основе личных контактов в процессе обсуждения вопросов планирования и организации космических экспериментов, анализа их результатов и совместных поездок в различные организации и на конференции.

Впервые я встретился с С.Н. Верновым в 1965 году, когда он предложил подготовить материалы для сборников «Модель космоса». Уникальность и полезность этих не имеющих аналогов в мире изданий, инициатором и бесменным главным редактором которого был Сергей Николаевич, отмечены Госпремией СССР и положительными отзывами специалистов различных областей науки и техники.

Настоящей школой для участников были семинары, а умение Сергея Николаевича вести их считаю образцом, к которому надо стремиться. Он старался, чтобы выступления и выводы были понятны всем присутствующим. Дело доходило до курьезов. Однажды один из сотрудников, недовольный затянувшимся подробным рассмотрением какого-то утверждения докладчика, сказал Сергею Николаевичу, что уже все поняли, кроме него. Однако это не произвело на Сергея Николаевича никакого впечатления, и он продолжал расспросы дальше.

Большое внимание Сергей Николаевич уделял организации обработки и анализа экспериментальных данных. Серьезные трудности возникали при привязке спутниковой информации к L, B -координатам, позволяющей существенно облегчить анализ пространственного распределения измеренных потоков заряженных частиц. На начальном этапе эта операция выполнялась вручную путем интерполяции данных американских L, B -карт. Такая трудоемкая кропотливая работа требовала участия многих исполнителей. В шутку ее называли вычислительной машиной «30 Д» (девочек).

Сергей Николаевич предложил заняться автоматизацией этой процедуры. В 1966 г. алгоритм и программа для ЭВМ были подготовлены и начали успешно применяться в НИИЯФ МГУ, а затем и в других организациях (ФИАН, ИКИ, ИЗМИРАН, ИКФИА, ИФА и др.). Наиболее сложным в алго-

ритме был расчет L, B -координат, включающий вычисление геомагнитного поля по модели сферического гармонического анализа с помощью присоединенных функций Лежандра и инвариантов движения частиц, а также построение магнитных силовых линий. L, B -координатам были посвящены два семинара, на которых Сергей Николаевич подробно выяснял их применение и методы расчета. В дальнейшем это позволило подготовить отечественные L, B -карты и графики минимальных высот опускания захваченных геомагнитным полем заряженных частиц на различных долготах в зависимости от параметра L . Эти результаты успешно использовались для разработки отечественных моделей полей заряженных частиц в околоземном космическом пространстве и основ прогнозирования радиационной обстановки на борту космических аппаратов.

Опубликованные в различных изданиях «Модели космоса» сведения о потоках частиц и дозах радиации широко использовались для обеспечения безопасности полета космических аппаратов (КА).

Результаты проведенных под руководством Сергея Николаевича экспериментов на ИСЗ серии «Электрон» явились основой для впервые созданного в СССР нормативного документа, устанавливающего требования по стойкости КА к воздействию космических ионизирующих излучений. Этот документ был утвержден начальником вооружения – заместителем министра обороны генерал-полковником А.В. Герасимовым и направлен для исполнения в организации-разработчики КА и его комплектующих изделий. Эти же данные использовались в изданной в 1971 г. по заказу Министерства обороны «Нормативной модели радиационных условий полета КА». В ее подготовке принимала участие группа сотрудников НИИЯФ МГУ под руководством Сергея Николаевича.

Большое внимание Сергей Николаевич уделял экспериментам, проводимым на межпланетных КА. По его инициативе в НИИЯФ МГУ разработана программа, предусматривающая мониторинговые измерения потоков заряженных частиц в гелиосфере. Для ее реализации созданы несколько десятков комплектов аппаратуры, которые с начала 60-х годов прошлого века успешно функционировали на различных автоматических межпланетных станциях (АМС). В результате получен уникальный многолетний ряд однородных данных по потокам межпланетных протонов, охватывающий несколько циклов солнечной активности. На ранних этапах космонавтики серьезные трудности возникали с получением и обработкой научной телеметрической информации. Дело в том, что данные в то время представлялись в виде лент самописцев, расшифровка которых требовала кропотливой длительной работы. Вернов поставил задачу – сосредоточить усилия по коренному изменению этой ситуации. В процессе решения этой задачи было выяснено, что в МО проводится работа по совершенствованию приема и автоматизации первичной обработки служебной информации, поступающей с автоматиче-

ских межпланетных станций (АМС). Была достигнута договоренность о совместной разработке программного комплекса (ПК), учитывающего не только служебную, но и научную информацию.

В ходе создания и апробации ПК на вычислительных средствах наземно-измерительных пунктов (НИП) 15 (Симферополь) и 16 (Евпатория) была использована предложенная нами оригинальная схема выделения научных данных из большого объема ТМИ непосредственно во время ее приема. Ее реализация позволила существенно упростить, удешевить и сократить сроки доведения ценных зарегистрированных на АМС сведений до разработчиков научной аппаратуры НИИЯФ МГУ, ИКИ АН СССР, ИЗМИРАН и других организаций.

Следует отметить высокую мобильность Сергея Николаевича. Если на монументальном входе в НИИЯФ среди степенно поднимающихся сотрудников и студентов увидишь быстро промелькнувшую вверх по ступенькам фигуру, то это Сергей Николаевич. Такая черта прослеживалась не только в служебной и научной, но и в общественной деятельности. Так, например, в личном разговоре космонавт Г.М. Гречко весьма похвально отзывался о работе Сергея Николаевича в роли председателя Московского комитета защиты мира. Вокруг Сергея Николаевича все время кипела работа. Он регулярно давал задания сотрудникам не только НИИЯФ, но и других организаций, собирал срочные совещания сразу же (часто и в выходные дни) после получения новых интересных результатов экспериментов, организовывал поездки в различные организации и очень сердился, когда кто-то из сотрудников не хотел ехать в другой город на конференцию. Особенно большое значение Вернов придавал постоянным контактам с генеральными конструкторами космической техники. При их смене незамедлительно договаривался о встрече с новыми руководителями. В этом случае требовал, чтобы сопровождающие его лица так же, как и он, надевали значки, которые свидетельствовали о важных заслугах. Однажды, когда я забыл это сделать при поездке к назначенному после смерти Г.Н. Бабакина руководителем НПО им. Лавочкина Ковтуненко, по указанию Сергея Николаевича заехали ко мне домой, где я взял значок лауреата Государственной премии СССР.

Весьма плодотворные отношения установились с НПО прикладной механики, где, несмотря на большую удаленность (Красноярск), по указанию Сергея Николаевича была организована и многие годы успешно функционировала лаборатория НИИЯФ МГУ. Это было весьма полезным решением, позволившим практически на всех КА связи и навигации устанавливать разработанные в институте научные приборы и впервые осуществить постоянный мониторинг радиационных условий практически во всем околоземном космическом пространстве. Созданная при этом система сбора, обработки и доставки информации обеспечила оперативное получение результатов измерения радиационной обстановки в НИИЯФ МГУ.

Большое внимание уделял Сергей Николаевич связям с руководящим составом и различными организациями Министерства обороны, в ведении которого находились основные сферы деятельности космонавтики, включающие финансирование, запуски и управление КА, прием и обработку ТМИ, а также многое другое. Особо следует отметить многолетнюю совместную деятельность с 22 ЦНИИ МО в организации и проведении космических экспериментов, создании программного обеспечения обработки ТМИ и моделей радиационных условий полета КА, подготовки материалов для издания в сборниках «Модель космоса», разработки различных нормативных пособий и ГОСТов, в выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Начиная с 1966 г., сотрудники 22 ЦНИИ МО и НИИЯФ МГУ активно участвовали в оперативном сопровождении пилотируемых, межпланетных и особо важных беспилотных КА в части прогнозирования радиационной обстановки и обеспечения безопасности полетов. Эта работа получила высокую оценку и неоднократно отмечалась правительственными наградами. Кроме того, участие в группах подготовки, управления и анализа полетов во многих случаях позволило эффективно решать задачи установки научной аппаратуры на различные КА, переводить некоторых из них в разряд служебных, своевременно получать ТМИ и допуск к вычислительным средствам НИПов.

В 1973 г. Сергей Николаевич возглавил одну из секций Межведомственного координационного научно-технического совета (МКНТС) по проблеме стойкости объектов вооружения к спецвоздействиям, в число которых входят и факторы космического пространства (ФКП). Первым председателем МКНТС стал заместитель начальника вооружения по радиоэлектронике генерал-полковник Р.П. Покровский. В состав совета вошли руководители ведущих организаций промышленности, главные конструкторы, видные ученые и специалисты по проблеме. Под эгидой МКНТС разрабатывались предложения к пятилетним планам исследований, проводились всесоюзные конференции, обсуждались полученные результаты и определялись дальнейшие направления исследований, первоочередные задачи и пути их решения.

Одним из иницируемых советом мероприятий была разработка нормативных документов, регламентирующих различные сферы деятельности практической космонавтики (программа «Канопус»). НИИЯФ МГУ поручалось создать 39 Государственных стандартов (ГОСТов), устанавливающих уровни внешних воздействий в космическом пространстве, которые должны учитываться при разработке космической техники и управлении полетом КА. Такое поручение повергло в недоумение многих сотрудников института, предметом исследования которых было изучение особенностей физических процессов, протекающих при различных явлениях в космиче-

ской среде. Поэтому непонятным становилось, каким образом и для чего необходимо стандартизировать явления природы. Тем более что к тому времени еще не было получено достаточных экспериментальных и теоретических данных, позволяющих однозначно объяснить многие события на Солнце, в околоземном и межпланетном пространстве. Кроме того, сотрудники института не имели никакого опыта по созданию нормативных документов, не говоря уже про ГОСТы, нарушения которых касается законом. Когда эти доводы были доложены Сергею Николаевичу, возник серьезный конфликт, для урегулирования которого Б.А. Тверской (в то время был заместителем директора института по науке) был вынужден поехать к нему в больницу. Несмотря на болезненное состояние, Сергей Николаевич проявил твердость, и НИИЯФ МГУ приступил к этой работе. Большинство ГОСТов в больших муках было подготовлено, издано и введено в действие после кончины Сергея Николаевича.

Сейчас, спустя много лет, надо признать, что в этом конфликте прав оказался Вернов. Прежде всего, участие в программе «Канопус» существенно повысило имидж НИИЯФ МГУ среди разработчиков космической техники и других специалистов, занимающихся фундаментальными и прикладными исследованиями в области космонавтики. Во многом также благодаря ему до настоящего времени институт включают в различные государственные космические программы, предлагают проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по этой тематике.

В процессе создания ГОСТов сотрудники приобрели опыт углубленного и более строгого анализа имеющихся экспериментальных и теоретических результатов, оценки их значимости и достоверности, а также мотивированного обоснования полученных выводов. Кроме того, не лишними явились и денежные премии сотрудникам. В части некоторых сомнений о полезности ГОСТов, разработанных по программе «Канопус», можно сказать следующее. Конечно, для тех целей, которые записаны в стандартах, они малопригодны и практически не используются. Однако, по моему мнению, основные претензии надо отнести к организаторам программы, в которой недостаточно четко определены области применения и связь с действующими стандартами. Тем не менее созданные под эгидой руководимой Верновым секции МКНТС ГОСТы до настоящего времени успешно используются в качестве справочных материалов, в которых компактно изложены характеристики и особенности различных видов ионизирующих излучений космического пространства.

Среди основных черт характера Сергея Николаевича следует отметить преданность науке и чуткое, благожелательное отношение к коллегам и сотрудникам института. В полной мере это я ощутил и по отношению к себе. Если бы не постоянные призывы и контроль со стороны Сергея Николаевича, я существенно затянул бы защиты кандидатской и докторской диссертации.

ций. Несмотря на то что много научных работ было опубликовано в секретных изданиях, по настоятельной рекомендации Сергея Николаевича защита кандидатской диссертации была проведена на Ученом совете НИИЯФ МГУ. На все мои доводы о режиме секретности Сергей Николаевич отвечал: «У Вас с диссертацией все нормально». По-видимому, он считал, что на закрытом совете защищаются, если имеются серьезные огрехи в диссертационной работе. Как и следовало ожидать, некоторые неприятности по части секретности у меня были, особенно из-за сообщения о защите в газете «Вечерняя Москва». Сергей Николаевич считал предложенное им название моей диссертации «Математическое моделирование физических характеристик радиационных поясов Земли» весьма удачным, так как в нем присутствуют слова математика и физика, что соответствует названию присваиваемой соискателю ученой степени.

В 70-х годах прошлого столетия Сергей Николаевич пригласил меня в группу сотрудников, выдвигаемых на соискание Госпремии СССР за разработку сборников «Модель космоса». Он знал, что я был включен в другую группу, которая Министерством обороны также представлена на премию. По его рекомендации я вышел из этой группы, для того чтобы быть вместе с НИИЯФ МГУ. Правда, мы получили премию на несколько лет позже, чем моя бывшая группа, но я считаю, что и здесь правым оказался опять Сергей Николаевич. Он часто предлагал вместе с ним и без него участвовать в различных комиссиях, советах, совещаниях, конференциях, причем иногда не по моей основной профессии. Например, меня включили в комиссию по возможности использования ускорителя на встречных пучках, разработанного под руководством Г.И. Будкера в Институте ядерной физики СО АН, для использования в различных прикладных применениях. На вопрос, почему меня, Сергей Николаевич ответил: «Вы разберетесь, а если нужно, подключу специалиста по ускорителям». (На самом деле с нами поехал А.В. Спасский – в настоящее время заведующий лабораторией ускорительных установок.)

Для моего участия в конференциях необходимо было получать разрешение у заместителя министра обороны, что требовало большой, длительной бумажной волокиты, включающей прохождение писем с обоснованием по инстанциям, и часто заканчивалось отказом. Сергей Николаевич предложил в этих случаях оформляться как сотрудник НИИЯФ МГУ. Поэтому коллеги из различных организаций долгое время не знали, что я военнослужащий. Кстати, почему-то Сергей Николаевич очень интересовался моим воинским званием и регулярно спрашивал: «Когда Вы будете подполковником? Когда Вам присвоят звание полковника?» На встрече после защиты кандидатской диссертации Сергей Николаевич имел длительную беседу с моим отцом, журналистом, в ходе которой кроме обсуждения общих вопросов расспрашивал и лично обо мне.

Интересен также и такой случай. Сергей Николаевич пригласил меня пройтись вокруг МГУ. Во время прогулки он начал убеждать меня продолжать исследования космоса. Он не поверил, что я не прекратил и не планирую прекращать эту работу, и продолжал в течение более часа говорить на эту тему. По-видимому, кто-то из высокопоставленных военных доложил о моем переходе из космического отдела в другой отдел 22 ЦНИИ МО. Здесь, наверное, надо пояснить, как складывались отношения Сергея Николаевича с военными. Дело в том, что Вернов в нарушение принятых в бюрократии правил давал задания непосредственно мне, минуя мое начальство. Один наиболее активный начальник, полковник В.А. Кузнецов, просил меня, по-видимому с не совсем бескорыстными целями, представить его академику С.Н. Вернову. В течение года я не мог уговорить Сергея Николаевича на это мероприятие, так как он не понимал, зачем и для чего это нужно. Наконец встреча, которая имела определенные последствия, состоялась. Был устроен ряд совещаний у высшего командования Министерства обороны, на которых обсуждено участие Сергея Николаевича в некоторых координационных советах и взаимодействие с различными военными организациями.

В.А. Кузнецов при встрече с С.Н. Верновым становился по стойке смирно и убеждал, что для окружающих он – маршал. Мне показалось, что такое отношение военных до некоторой степени льстило Сергею Николаевичу, и он иногда начал пользоваться этим. Так, когда я однажды сказал, что, по-видимому, не смогу поехать вместе с ним на конференцию, он ответил: «Позвоню министру обороны». В следующий раз на заявление, что нет необходимости приезжать мне на внеочередное совещание, так как я выполнил порученное задание, Сергей Николаевич бурно отреагировал. Напомнил: он как маршал – и пожаловался военному начальству. Правда, эти конфликты не имели серьезных последствий. Сергей Николаевич быстро забывал их и сохранял благожелательное отношение. Эту черту его характера иногда использовали во вред делу. Приведу один пример. По роду служебной деятельности я имел возможность и старался оказывать помощь НИИЯФ МГУ в вопросах включения в программы межпланетных полетов, установки аппаратуры на АМС, получения ТМИ и т. д. Однажды в НПО им. С.А. Лавочкина, головного конструкторского бюро по разработке АМС, показали письмо из ИКИ АН, составленное Н.Л. Григоровым (в то время он перешел из НИИЯФ МГУ в ИКИ АН) и завизированное С.Н. Верновым. В этом письме предлагалось в дальнейшем учитывать преимущественное право ИКИ РАН на установку научных приборов на АМС. Когда я попросил Сергея Николаевича разобраться этой ситуацией, он ответил: «Ну что могу сделать? Я же знаю Н.Л. Григорова очень давно».

Следует отметить быстрый карьерный рост В.А. Кузнецова: он защитил докторскую диссертацию, стал начальником метрологического центра и получил звание генерала. В какой-то мере ему, как и многим другим, в жиз-

ненных различных ситуациях, по-видимому, помогло доброе отношение Сергея Николаевича. В подобных случаях Вернов говорил: «Где я могу приложить свой вектор?»

В заключение своих воспоминаний хочу сообщить поразительный для меня факт, что я не встретил ни одного человека, который бы негативно отзывался о С.Н. Вернове. И это несмотря на то, что Сергей Николаевич Вернов в течение длительного времени был руководителем и наверняка вынужден был принимать решения, которые кому-нибудь не нравились.

2009 год

С.Н. ВЕРНОВ – ОТ МОСКВЫ ДО САМЫХ ДО ОКРАИН

Л.Л. Лазутин

Мои воспоминания о Сергее Николаевиче Вернове, основанные на коротких и нечастых встречах с ним, гораздо беднее, чем у постоянных его сотрудников, и все же начальные годы и сама моя дорога в науку были связаны с Верновым, так что запишу все, что помню. Считаю нужным подчеркнуть внимательное отношение С.Н. Вернова к провинциальным ученым и провинциальной науке.

Организация Полярного геофизического института

Полярный геофизический институт был создан в конце 1960 года в составе Кольского филиала АН СССР на базе нескольких работавших на Кольском полуострове научных станций и экспедиций. Н.В. Пушков передал в ПГИ Мурманское отделение ИЗМИРАНа вместе с будущим директором ПГИ С.И. Исаевым, В.А. Троицкая – ИФЗ, свою станцию регистрации земных токов в Ловозеро, Арктический и Антарктический институт – станции космических лучей в Лопарской и в обсерватории «Дружная», что на острове Хейса на Земле Франца-Иосифа. С.Н. Вернов решил передать ПГИ баллонные наблюдения космических лучей, которые проводились в Оленьей группой А.Н. Чарахчяна.

– Зачем тратить деньги на командировочные, если в ПГИ будет лаборатория космических лучей? – сказал он.

Директор ПГИ Сергей Иванович Исаев, специалист по полярным сияниям, принял предложение, но озаботился поиском инженера-радиотехника, способного разобраться в схемах зонда космических лучей. В отделе кадров Академии наук ему посоветовали дать заявку в комиссию по распределению выпускников МФТИ, авось кто и согласится. Вот я и согласился, хотя о ПГИ не имел ни малейшего понятия. На последнем курсе в моей жизни произошло много событий, в частности женитьба, и готовиться к распределению не было времени. Решающим для нас с женой было обещание Исаева дать жилье в ближайшие полгода, кстати сказать выполненное.

Короткие встречи

Свой радиозонд космических лучей мы разработали вдвоем с Эдуардом Французом, моим однокашником по радиофизическому факультету МФТИ. В одном из первых удачных полетов мы зарегистрировали вспышку солнечных космических лучей. Эдик решил не изменять радиотехнике, а я заинтересовался вспышкой и повез результаты к Агаси Назаретовичу Чарахчьяну, ученику и соратнику Вернова. Дальше – больше, и вот в 1967 защита кандидатской в НИИЯФ и назначение заведующим лабораторией космических лучей ПГИ – все это при поддержке С.Н. Вернова. Эпизодические встречи с ним на конференциях, на семинарах, пару раз в домашней обстановке.

В одну из первых командировок встречаюсь в коридоре с Сергеем Николаевичем.

– А, вы здесь. Завтра еще будете? Обязательно ко мне на семинар.

– Да я не...

– Ничего ни не. Бывать обязательно. И выступить было бы полезно.

Верновские семинары, живые, оживленные дискуссией, – кто же их забудет? Говорят, у Гинзбурга и у Ландау были интересные семинары. Не знаю, не был. Думаю, у Вернова были не хуже.

На конференциях по космическим лучам, тогда ежегодных, Сергей Николаевич обязательно отыскивал меня в фойе, брал под локоть и спрашивал, как дела. Короткий разговор поднимал настроение: и наша провинциальная лаборатория нужна космическим лучам.

Жалуюсь С.Н. – погибается СКЛ на о. Хейса. Создается в Союзе сеть супермониторов – нельзя ли один в полярную шапку? Зачем так много на юге? С.Н. обещал решить эту проблему, но потом признался, что бессилён: южные супермониторы финансируют свои республики, а по России – региональные филиалы академии, центральных ассигнований нет.

Залетела как-то в околосемные окрестности комета Икея-Секу. Академик Константинов, озабоченный поисками антивещества, предположил, что как раз эта комета несет его, антивещество, в себе. К нам в Апатиты прибыл из ЛФТИ его эмиссар, толкач по-нашему, требовал непрерывно запускать зонды. А у нас, как на грех, и зондов готовых было мало, и партия счетчиков попала тухлая: возьмет и загенерит в полете. Сергей Николаевич тоже поинтересовался: были ли возрастания в полетах под комету? Да нет, говорю, не было, в паре полетов был бешеный счет, но это генерил счетчик.

– Запись на магнитофон есть? Везите ее сюда срочно, – распорядился С.Н.

Привез. В директорском кабинете собралось несколько сотрудников. Включили запись. Вернов послушал и сказал сердито, с досадой:

– Что это вы привезли? Это просто генерит счетчик!

Конференции и семинары

В Апатитах прошла конференция по космическим лучам. Вернову понравилась организация, да и ехать из Москвы недалеко – решил организовать там семинары по космическим лучам. Главными толкачами из центра были Кочаров и Дергачев. Совсем неплохими толкачами, кстати сказать. С.Н. на всех семинарах бывал и каждый раз посещал филиальское и городское начальство – секретаря горкома и predisполкома. Отношение к ПГИ в городе хорошило.

На всех других конференциях С.Н. непременно посещал местное начальство к большой пользе для провинциальной науки – в Тбилиси, Ташкенте, Ереване, Якутске.

Вслед за апатитскими семинарами пошли ленинградские, и все это в дополнение к ежегодным конференциям по космическим лучам. С.Н. Вернов был душой и мотором всех этих встреч. Он старался привезти на конференции крупных ученых. В.Л. Гинзбург был непременно участником и всегда читал интересные лекции о всем новом в космофизике. Шло непрерывное обогащение информацией. У Сергея Николаевича была манера задавать докладчикам простые вопросы, было ясно, что не для себя, а для нас, молодых и необученных. И еще: эти встречи объединяли нас в один дружеский коллектив, появлялись новые друзья – одного этого достаточно, чтобы вспомнить С.Н. добрым словом.

Сергей Николаевич Вернов стоял на вершине той когорты руководителей советской космофизики, таких, как Н.В. Пушков, В.А. Троицкая, Ю.Г. Шафер, которых уже нет и которых касалось все – и интересы всего дела в целом, и дела и заботы провинциального младшего научного сотрудника. В этом звании я имел честь пожать руку где-то десяти академикам, начиная с Келдыша, а за последние 20 лет в профессорском звании – может быть, двум-трем. Смешная арифметика, но хотелось бы, чтобы старый дух, дух Вернова, подольше сохранился хотя бы в НИИЯФ.

2009 год

ИСТОКИ КОСМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

А.И. Акишин

Подготовка к первым экспериментам в НИИЯФ МГУ по имитации воздействия космических корпускулярных излучений на материалы и элементы оборудования искусственных спутников Земли (ИСЗ), и в частности на терморегулирующие покрытия началась по инициативе директора НИИЯФ МГУ академика С.Н. Вернова в конце 1961 г. Испытания проводились в лаборатории ядерных реакций (ЛЯР) НИИЯФ МГУ (заведующий лабораторией, профессор С.С. Васильев) на электромагнитном сепараторе. Организация таких исследований в НИИЯФ МГУ была связана с обращением Главного конструктора космической техники С.П. Королева к С.Н. Вернову. Необходимо было выявить наиболее устойчивые типы терморегулирующих покрытий для долгоживущих космических аппаратов (КА). Впоследствии неоднократно приходилось выполнять срочные задания от С.Н. Вернова по исследованию и прогнозированию работоспособности различных материалов и элементов космических аппаратов. Испытания проводились, как правило, в связи с личным обращением к С.Н. Вернову главных конструкторов космических аппаратов (В.Н. Челомея, М.Ф. Решетнева, Г.Н. Бабакина, Н.С. Лидоренко и др.).

Благодаря созданному по замыслам заведующего лабораторией ядерных реакций НИИЯФ МГУ профессора С.С. Васильева ускорительному комплексу НИИЯФ МГУ на всех установках удалось развить исследования по радиационной стойкости материалов и элементов космической техники, и эти первые научные исследования, выполненные в НИИЯФ МГУ, заложили основы нового научного направления – космического материаловедения. Уже к второй половине 1960-х годов были получены важнейшие результаты в этой новой области, признанные как у нас в стране, так и за рубежом. Были выполнены также предложенные рекомендации по повышению радиационной стойкости материалов и элементов бортового оборудования КА. Результаты исследований, проведенных в 1962–1978 гг. под руководством академика С.Н. Вернова, профессоров А.И. Акишина и И.Б. Теплова, вошли в цикл работ, удостоенных Государственной премии СССР (1979). Для этих работ в основном использовалась экспериментальная база ЛЯР НИИЯФ МГУ: циклотрон У-120 с энергией протонов до 6,3 МэВ, электростатический ускоритель ЭГ-8 с напряжением 4 МВ, каскадный генератор КГ-500 с энергией протонов 100–500 кэВ, электромагнитный сепаратор с энергией протонов до 30 кэВ.

Для воздействия на материалы фотонных ионизирующих излучений использовалась кобальтовая пушка и рентгеновская установка РУП-400. Исследования также проводились на электронных ускорителях с энергиями электронов 2 и 22 МэВ (ИМЕТ РАН) и на протонном инжекторе с энергией протонов 100 МэВ (ИФВЭ, Протвино). В ЛКМ было создано и запущено несколько оригинальных имитационных установок.

С.Н. Вернов много внимания уделял исследованиям по радиационной стойкости кремниевых фотопреобразователей солнечных батарей ИСЗ на ускорителях заряженных частиц НИИЯФ МГУ. При активной поддержке С.Н. Вернова совместно с НПО «Квант» был проведен большой объем исследований радиационной стойкости различных типов кремниевых фотопреобразователей при облучении протонами и ионами гелия с энергией 0,1–30 МэВ.

При воздействии космических корпускулярных излучений на микросхемы с высоким уровнем интеграции возникают радиационные одиночные сбои (РОС), приводящие к радиационным аномалиям искусственных спутников Земли. В 1979 г. автор этих строк ознакомил С.Н. Вернова с проблемой РОС больших интегральных схем, возникающих в бортовом электронном оборудовании американских ИСЗ. С.Н. Вернов заинтересовался этой проблемой и рекомендовал как можно быстрее организовать в лаборатории изучение физических основ РОС микросхем. В лаборатории космического материаловедения для изучения РОС микросхем развивались методики с помощью осколков деления радиоактивного изотопа калифорний-252 и на базе применения сфокусированного импульсного лазерного пучка.

Исследования электроразрядных процессов в диэлектриках, находящихся в радиационно заряженном состоянии, были начаты в лаборатории космического материаловедения в 1963 г. Интерес к этому явлению сильно возрос еще в 1962 г., после образования мощного искусственного радиационного пояса Земли в результате проведения США в южной части Тихого океана на высоте около 400 км термоядерного взрыва. Под действием электронов искусственного радиационного пояса Земли несколько ИСЗ США снизили свой ресурс.

С проблемой значительного влияния электризации от электронов радиационного пояса Земли на работоспособность геостационарных и высокоэллиптических советских ИСЗ типа «Горизонт», «Радуга» и «Молния» пришлось столкнуться в конце 1970-х годов, С.Н. Вернов, понимая значимость этой задачи, подключился к ее решению. Секция № 2 Межведомственного координационного научно-технического совета (МКНТС) при Военно-промышленной комиссии Совета Министров и Министерства обороны СССР под руководством С.Н. Вернова подготовила общесоюзную научно-техническую программу по разработке методов борьбы с радиационной электризацией ИСЗ. Согласно решению Совета Министров СССР,

НИИЯФ МГУ стал головной организацией по этой проблеме. Ключевая тема программы – создание физико-математической модели радиационной электризации геостационарных ИСЗ и получение экспериментальных данных по физике электроразрядных процессов в диэлектриках, используемых в аппаратуре ИСЗ.

В течение последующих нескольких лет уже без Сергея Николаевича, но фактически по его инициативе в НИИЯФ МГУ была разработана физико-математическая модель радиационной электризации геостационарных ИСЗ. Исследовано влияние электромагнитных помех, возникающих в процессе электроразрядных явлений в облученных диэлектрических материалах на сбои оборудования ИСЗ. Исследован механизм электроразрядного разрушения твердых диэлектриков при воздействии пучка протонов с энергией 100 МэВ.

С.Н. Вернов много внимания также уделял научно-организационным вопросам. С.Н. Вернов с 1965 по 1982 гг. был председателем секции № 2 (МКНТС). Ученым секретарем секции № 2 был А.И. Акишин (1965–1991). В 1965 г. С.Н. Вернов предложил автору этих строк организовать в НИИЯФ МГУ Всесоюзный семинар, тематика: «Имитация воздействия космической среды на материалы и элементы космических летательных аппаратов». С 1965–1991 гг. было проведено 79 заседаний. Семинар решал две основные задачи.

1. Координация научных усилий многочисленных, но разрозненных научных групп на предприятиях ракетно-космической промышленности и институтов АН СССР и МВ ССО СССР, работающих в области исследования воздействия космической среды на материалы и оборудование КА.

2. Разработка идеологии и стратегии в подготовке научно-технических программ по повышению стойкости и надежности материалов и элементов КА к воздействию космической среды в течение длительного времени полета КА. С учетом такой проработки секция № 2 МКНТС имела возможность подвергать экспертизе основные идеи, закладывавшиеся в научно-технические программы. Участниками семинара стали сотрудники большого числа предприятий и институтов, в том числе ЦНИИМАШ, НПО «Энергия», НПО завод имени Лавочкина, НПО «Салют», НПО «Квант» и др.

Под редакцией академика С.Н. Вернова вышло семь изданий сборника НИИЯФ МГУ «Модель околоземного космического пространства» («Модель космоса») (1964–1983). Во втором томе сборника «Моделирование воздействия космической среды на материалы и оборудование космических летательных аппаратов» излагались различные аспекты космического и радиационного материаловедения.

Проблематика секции № 2 МКНТС была связана с анализом надежности космических аппаратов к воздействию космической среды, в первую очередь различных видов космических ионизирующих излучений. Будучи ве-

дущим специалистом в области космических корпускулярных излучений в СССР, С.Н. Вернов пользовался непререкаемым авторитетом на заседаниях МКНТС и секции № 2. Председатель МКНТС генерал-полковник Р.П. Покровский при встрече с С.Н. Верновым любил в шутливой манере отмечать, что для него С.Н. Вернов – маршал. В период с 1965 по 1982 годы секция № 2 МКНТС при личном участии С.Н. Вернова подготовила ряд важнейших всесоюзных научно-технических программ, в частности радиационная электризация космических аппаратов, работа бортового оборудования космических аппаратов в открытом космосе, подготовка специалистов в СССР по специализации «Космическое и радиационное материаловедение», выработка ГОСТ по факторам космического пространства, межотраслевая база радиационных испытаний и т. д. С.Н. Вернов лично докладывал о научно-технических программах, подготовленных секцией № 2 МКНТС, на Военно-промышленной комиссии Совета Министров СССР, проходившей в Кремле.

С.Н. Вернов считал необходимым создание филиалов НИИЯФ МГУ в различных регионах СССР (Красноярск, Лыткарино, Реутов). Остановлюсь подробнее на истории создания центра имитационных испытаний в Центральном конструкторском бюро машиностроения (ЦКБМ) в Реутове.

В 1962–1963 годы – период стремительного взлета ЦКБМ – генеральным конструктором космической техники был В.Н. Челомей. В 1963 г. С.Н. Вернов принял предложение В.Н. Челомея об участии НИИЯФ МГУ в разработке научно-технического задания проекта создания на возглавляемом им предприятии имитационного центра для испытаний стойкости изделий космической техники к воздействию космических корпускулярных излучений. Ответственным исполнителем реализации этого проекта был определен Физико-технический институт низких температур (ФТИНТ) АН УССР (Харьков). В то время ФТИНТ любой ценой стремился занять достойное место в фундаментальной и прикладной науке. Директор ФТИНТа чл.-корр. АН УССР Б.И. Веркин был умнейшим и неординарным человеком. Рабочая группа НИИЯФ МГУ, созданная С.Н. Верновым (А.И. Акишин, С.С. Васильев, Ю.А. Воробьев, Е.В. Горчаков, И.Б. Теплов), должна была выработать научно-техническое задание проекта и осуществлять его сопровождение. Ситуация для НИИЯФ МГУ и особенно для ФТИНТ осложнялась тем, что проекту уделялось большое внимание со стороны вышестоящих организаций, в том числе ЦКБМ, где работал С.Н. Хрущев. Рабочая группа НИИЯФ МГУ отстаивала развернутое техническое задание проекта, включая строительство в имитационном центре ЦКБМ циклотрона. ФТИНТ, по-видимому, был не в состоянии реализовать проект на базе задания НИИЯФ МГУ, возникли осложнения, согласование проекта затягивалось. Развязка наступила неожиданно. В 1964 г. Н.С. Хрущев был освобожден с поста Первого секретаря ЦК КПСС. В последующие годы на

предприятию был смонтирован разработанный ФТИНТ по техническому заданию НИИЯФ МГУ электронно-протонный инжектор с энергией заряженных частиц 200 кэВ.

В связи с бурным развитием космических исследований и ракетно-космической промышленности С.Н. Вернов с 1965 г. начал активно интересоваться подготовкой студентов по профилю «Космическое и радиационное материаловедение» (КРМ). Сергей Николаевич считал это важной государственной проблемой. По инициативе С.Н. Вернова этот вопрос обсуждался на секции № 2 МКНТС. В начале 1971 г. удалось наладить контакт с ректором Московского института электронного машиностроения (МИЭМ) профессором Е.В. Арменским, который активно подключился к решению проблемы. Инженеров по профилю КРМ в МИЭМ готовили на факультете «Электроника» на кафедрах «Материаловедение электронной техники» и «Физические основы электронной техники».

При организации новой специализации в МИЭМ С.Н. Вернов заверил ректора института, что учебная и экспериментальная база НИИЯФ МГУ будет открыта для подготовки студентов МИЭМ по этому профилю. С 1971 г. в МИЭМ начались занятия студентов по специализации «Космическое и радиационное материаловедение», а в 1974 г. было получено в Министерстве высшего и среднего специального образования СССР официальное разрешение о включении этой специализации в специальность «Электронное машиностроение». Ежегодная потребность в СССР в 1970–1975 гг. в специалистах по новому профилю составляла около 100 человек. МИЭМ ежегодно готовил около 50 человек. Академик С.Н. Вернов с 1971 по 1982 гг. читал для студентов МИЭМ курс лекций «Основы космической и ядерной физики».

С 1975 по 1985 гг. по инициативе С.Н. Вернова кафедра физики космоса и космических лучей Отделения ядерной физики физического факультета МГУ также начала подготавливать студентов по индивидуальным планам по профилю космического и радиационного материаловедения. Студенты и аспиранты МГУ и МИЭМ, специализирующиеся по профилю «Космическое и радиационное материаловедение», выполняли свои исследования на учебной экспериментальной базе НИИЯФ МГУ. С 1971 г. в отделе ядерных и космических исследований НИИЯФ МГУ около 40 студентов МГУ и МИЭМ выполнили свои дипломные работы по этому профилю.

По просьбе ведущих предприятий Министерств общего машиностроения и электронного приборостроения СССР (КБ «Салют», ЦКБМ и ряд других организаций) МИЭМ в рамках специализации «Космическое и радиационное материаловедение» в 1978 г. создал специальный факультет по переподготовке специалистов этих предприятий. За 12 лет работы МИЭМ выпустил более 100 специалистов по этому профилю. Некоторые вузы СССР (Красноярский государственный университет, Томский политехнический институт,

Куйбышевский авиационный институт) обращались к С.Н. Вернову с просьбой о создании в этих вузах вышеназванной специализации для предприятий в их регионах.

С.Н. Вернов посвятил развитию космического материаловедения и подготовке специалистов в этой области в СССР более 20 лет своей жизни. Хотя эта проблема и не была ведущей в его научных интересах, но удивительно, как много он успел сделать. Исследования по космическому материаловедению в НИИЯФ МГУ получили дальнейшее развитие [13–18].

2009 год

Литература

1. Акишин А.И., Васильев С.С., Вернов С.Н., Николаев В.С., Теплов И.Б. О некоторых вопросах имитации и моделирования космической радиации в лабораторных условиях. Модель космического пространства. Под ред. акад. С.Н. Вернова. – М.: НИИЯФ МГУ, 1964, с. 375–409.
2. Акишин А.И., Васильев С.С., Вернов С.Н., Николаев В.С., Теплов И.Б. Некоторые вопросы имитации космического корпускулярного излучения. Сб. трудов «Материалы для космических летательных аппаратов» – М.: ВИАМ.1964, с. 9–24.
3. Акишин А.И., Булгаков Ю.В., Васильев С.С., Вернов С.Н., Николаев В.С., Теплов И.Б. Моделирование радиационного воздействия. Модель космического пространства. Под ред. акад. С.Н. Вернова, т. 2. – М.: НИИЯФ МГУ, 1966, с. 9–65.
4. Акишин А.И., Булгаков Ю.В., Васильев С.С., Вернов С.Н., Николаев В.С., Теплов И.Б. Моделирование радиационного воздействия космической среды на материалы и аппаратуру космических объектов. Модель космического пространства. Под ред. акад. С.Н. Вернова, т. 2. – М.: НИИЯФ МГУ, 1968, с. 3–41.
5. Акишин А.И., Булгаков Ю.В., Васильев С.С., Вернов С.Н., Николаев В.С., Теплов И.Б. Моделирование радиационного воздействия космической среды на материалы и элементы космических аппаратов. – Proc. XVII Congr. YAF. North. Publ. Co. 1968, с. 279–291.
6. Акишин А.И., Булгаков Ю.В., Васильев С.С., Вернов С.Н., Николаев В.С. Имитация и моделирование радиационного воздействия космической среды на материалы и аппаратуру ИСЗ. Модель космического пространства, т. 2, под ред. акад. С.Н. Вернова. – М.: НИИЯФ МГУ, 1971, с. 37–74.
7. Акишин А.И., Булгаков Ю.В., Васильев С.С., Вернов С.Н., Николаев В.С., Теплов И.Б. Моделирование радиационного воздействия космической среды на материалы и элементы искусственных космических объектов. Модель космического пространства, т. 2. Под ред. акад. С.Н. Вернова. – М.: НИИЯФ МГУ, 1973, с. 11–55.
8. Акишин А.И., Вернов С.Н., Назаров В.Г. Моделирование воздействия ионной компоненты космических излучений на кремниевые фотопреобразователи. Модель космического пространства. Под ред. акад. С.Н. Вернова, т. 2. – М.: НИИЯФ МГУ, 1975, с. 83–108.
9. Акишин А.И., Булгаков Ю.В., Вернов С.Н., Николаев В.С., Теплов И.Б. Моделирование радиационного воздействия космической среды на материалы и элементы искусственных космических объектов. Модель космического пространства. Под ред. акад. С.Н. Вернова т. 2. – М.: НИИЯФ МГУ, 1976, с. 42–68.
10. Акишин А.И., Вернов С.Н., Григорьева Г.М., Крейнин Л.Б., Назаров В.Г. Физические основы радиационной деградации полупроводниковых фотопреобразователей. Модель космического пространства. Под ред. акад. С.Н. Вернова. т. 2. – М.: НИИЯФ МГУ, 1976, с. 121–159.

11. Акишин А.И., Александров А.П., Булгаков Ю.В., Вернов С.Н., Теплов И.Б. Моделирование радиационного воздействия космической среды на материалы и элементы КА. Модель космического пространства. Под ред. акад. С.Н. Вернова т. 2. – М.: НИИЯФ МГУ, 1983, с 91–116.
12. Акишин А.И., Вернов С.Н., Григорьева Г.М., Крейнин Л.Б., Назаров В.Г. Влияние космических излучений на полупроводниковые фотопреобразователи. Модель космического пространства. Под ред. акад. С.Н. Вернова т. 2. – М.: НИИЯФ МГУ, 1983, с. 513–552.
13. Акишин А.И., Новиков Л.С. Воздействие окружающей среды на материалы космических аппаратов. – М.: Знание, Космонавтика, Астрономия, 1983, № 3, 73 с.
14. Акишин А.И., Новиков Л.С. Электризация космических аппаратов. – М.: Знание, Космонавтика, Астрономия, 1986, 64 с.
15. Effects of Space Condition on Materials. A.I. Akishin (Editor). – Nova Science Publishers, Inc. NY, 2001, p. 199.
16. Модель космоса. Под редакцией проф. М.И. Панасюка и проф. Л.С. Новикова. Т. 2. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. – М.: НИИЯФ МГУ, 2007, 1143 с.
17. Акишин А.И. Космическое материаловедение. Методическое и учебное пособие. – М.: НИИЯФ МГУ, 2007, 207 с.
18. Новиков Л.С., Воронина Е.Н. Перспективы применения наноматериалов в космической технике. Учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2008, 188 с.

С.Н. ВЕРНОВ – ОРГАНИЗАТОР КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СОВЕТСКОМ ГОСУДАРСТВЕ

И.Н. Топтыгин

Моя первая заочная встреча с Сергеем Николаевичем состоялась через журнал «Успехи физических наук» в начале 1950-х годов, когда я был студентом физико-механического факультета Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина. На старших курсах мы уже начали заглядывать в научные журналы, готовясь к семинарам по специальности, на которых каждый студент один раз за семестр должен был выступить с докладом на избранную тему с использованием текущей научной литературы. В те годы в физических журналах широко обсуждалась выдвинутая А.И. Алихановым и А.И. Алиханяном гипотеза о существовании «варитронов» – частиц с переменными (не фиксированными) массами. Названные авторитетные ученые утверждали, что существование таких частиц следует из их экспериментальных данных по космическим лучам. Основными оппонентами, отрицавшими существование таких частиц, выступали С.Н. Вернов, Н.А. Добротин и Г.Т. Зацепин. Довольно скоро выяснилось, что экспериментальные данные были интерпретированы неверно и варитронов не существует.

Воочию я увидел Сергея Николаевича в 1965 году в Москве на Всесоюзной конференции по физике космических лучей, на которую мы с А.З. Долгиновым представили теоретическую работу о движении заряженных частиц в случайных магнитных полях. На этой же конференции я познакомился с В.Л. Гинзбургом, С.И. Сыроватским, Л.И. Дорманом, Г.Ф. Крымским и другими исследователями космических лучей и космической среды.

Это было время «бури и натиска», когда человечество делало первые шаги в космос и во главе этого прогресса стояла наша страна – Советский Союз. Началось изучение околоземного космического пространства путем прямых измерений характеристик магнитосферной плазмы на спутниках, а также межпланетной плазмы, солнечного ветра и энергичных частиц на автоматических межпланетных станциях за пределами магнитосферы Земли. Наблюдательные данные с советских и американских аппаратов шли широким потоком, для их осмысления часто проводились всесоюзные и международные конференции, школы, семинары, рабочие совещания и т. п. Сергей Николаевич Вернов, будучи председателем Совета по комплексной проблеме «Космические лучи» и членом многих других научных и администра-

тивных советов, принимал самое живое участие в организации этой работы, был одним из руководителей этих исследований. Он выделялся своей активностью, широтой охвата проблем, точностью суждений, умением довести обсуждаемый вопрос до полной ясности для всех участников обсуждения. Кроме всесоюзных конференций, которые проводились в те времена ежегодно, большую роль для развития космических исследований в Советском Союзе сыграли ежегодные международные Ленинградские семинары по космофизике (1969–1980). Научным руководителем этих семинаров был С.Н. Вернов, а основную организационную работу выполняли заведующей лабораторией ФТИ им. А.Ф. Иоффе Г.Е. Кочаров и сотрудники его лаборатории, особенно В.А. Дергачев.

Комплексная проблема «Космические лучи» действительно весьма многогранна. Исторически первый аспект изучения космических лучей – ядерно-физический, выяснение свойств сильных взаимодействий при сверхвысоких энергиях. Сюда же относятся вопросы прохождения релятивистских частиц через атмосферу и развитие широких атмосферных ливней.

Но постепенно все большее значение стала приобретать проблема происхождения частиц сверхвысоких энергий, которая породила космические лучи с астрофизикой и радиоастрономией. Важную роль в становлении и развитии этого направления сыграла первая в мировой литературе монография В.Л. Гинзбурга и С.И. Сыроватского «Происхождение космических лучей», опубликованная в 1963 году.

В 1960–1970-е годы обособилось научное направление, связанное с физикой гелиомагнитосферы и солнечно-земных связей. Сергей Николаевич успешно продвигал все эти направления. Высокий уровень его компетенции был ясен каждому, кто слышал его четкие и конкретные вопросы докладчикам либо содержательные выступления при обсуждении узловых вопросов.

Характерной чертой всех научных мероприятий, которые проводил Сергей Николаевич, был их демократизм и открытость, отсутствие какого-либо подобия деления участников на «наших» и «не наших». По-видимому, благодаря этим привлекательным качествам руководителя, а особенно вследствие основательной материальной поддержки советской науки со стороны государства, в исследования космических лучей и космической среды было вовлечено много народу из самых разных городов и союзных республик нашей страны. В научных мероприятиях регулярно участвовали ученые из Москвы, Ленинграда, Харькова, Киева, Якутска, Тбилиси, Еревана, Алматы, Самарканда, Ташкента, Новосибирска, Иркутска, Душанбе и других городов, работавшие в научно-исследовательских и учебных институтах и университетах. Сергей Николаевич старался предоставить возможность выступить с докладом не только маститым ученым, но и начинающим исследователям, справедливо считая, что такие выступления окажутся хорошим стимулятором их дальнейшего научного роста.

Хорошо помню торжественное заседание осенью 1980 года в МГУ, посвященное чествованию С.Н. Вернова в связи с его 70-летием. Актовый зал был заполнен до отказа, присутствовали его сотрудники, ученики, коллеги, в том числе участники очередной Всесоюзной конференции по физике космических лучей, которая проходила в Москве в эти дни. На меня наибольшее впечатление произвела краткая ответная речь Сергея Николаевича, с которой он выступил после всех поздравлений. Его речь была очень энергична и оптимистична. Он говорил не о достигнутых успехах, а о том, как много еще предстоит сделать и какие грандиозные задачи стоят перед наукой, которой он посвятил всю свою жизнь. Это не было выступление человека, ощущающего на своих плечах тяжелый груз прожитых в неустанных и нелегких трудах семидесяти лет. Это была речь ученого, находящегося в расцвете творческих сил и устремленного к будущим свершениям.

К сожалению, после этого юбилея судьба подарила Сергею Николаевичу всего два года жизни. Все знавшие его и общавшиеся с ним люди, особенно связанные с ним общими научными интересами, остро ощутили невозполнимую потерю.

Для того чтобы оценить интегрально заслуги выдающегося ученого, необходимо коснуться его деятельности в историческом контексте, с учетом эпохи, его предшественников и последователей. Первооснователем изучения элементарных частиц и космических лучей в Советском Союзе по праву должен считаться Дмитрий Владимирович Скобельцын. В ленинградский период своей творческой деятельности он был преподавателем физики Ленинградского политехнического института (ЛПИ). Он проводил опыты с камерой Вильсона в лаборатории экспериментальной физики, которая была основана и оборудована в главном здании ЛПИ его отцом, профессором физики Владимиром Владимировичем Скобельцыным. Поэтому неслучайно С.Н. Вернов, учившийся в ЛПИ и окончивший в 1931 году физико-механический факультет, выбрал космические лучи основным объектом своих исследований.

Ради исторической достоверности следует напомнить, что физико-механический факультет ЛПИ, организованный в 1919 году А.Ф. Иоффе и его единомышленниками (среди которых М.В. Кирпичев, П.Л. Капица, А.Н. Крылов, А.А. Чернышев, Н.Н. Семенов и другие), был в 1920–1930-е годы подлинной кузницей кадров советской науки. Выпускниками факультета были Г.А. Гринберг, И.К. Кикоин, Н.М. Эмануэль, А.И. Алиханов, Г.Н. Флеров, Я.И. Померанчук, Ю.Б. Харитон, А.М. Бонч-Бруевич, В.В. Мигулин, Б.А. Мамырин и многие другие первоклассные ученые. Я.Б. Зельдович и Б.П. Константинов тоже учились на этом факультете, но не окончили его.

После переезда в Москву Д.В. Скобельцын и один из его ближайших последователей и учеников С.Н. Вернов организовали отделение ядерной физики на физфаке МГУ и Научно-исследовательский институт ядерной физи-

ки в составе МГУ, который в настоящее время носит имя своего основателя Д.В. Скобельцына. Они длительное время руководили этими научными подразделениями. Сергей Николаевич способствовал организации космических исследований и подготовке специалистов также в своей alma mater – в ЛПИ (ныне Санкт-Петербургский политехнический университет). Соответствующую профильную кафедру космических исследований организовал и возглавил Г.Е. Кочаров, один из ленинградских сотрудников и учеников С.Н. Вернова. Большую поддержку развитию астрофизических исследований в ФТИ и ЛПИ и организации профильной кафедры оказал вице-президент АН СССР Б.П. Константинов, ранее директор ФТИ и декан физикомеханического факультета ЛПИ. Кафедра успешно готовит специалистов по физике космоса уже в течение нескольких десятилетий. Вот такие богатые всходы дала научно-организационная деятельность С.Н. Вернова.

Размышления о жизнедеятельности крупных ученых, подлинных пассионариев науки, и об источниках их внутренней силы наводят на некоторые обобщения. Судьбы и достижения выдающихся ученых Российской империи, Советского Союза и нынешней России в XX столетии неотделимы от трагической истории страны, полной взлетов и падений. Нам, их наследникам, важно осмыслить не только их первоклассные научные достижения, но и ту роль, которую они сыграли в истории страны, и источники прежних успехов.

А успехи, несомненно, были. Быстрый научно-технический прогресс Советского Союза в предвоенные и первые послевоенные десятилетия позволил стране за короткий срок развить многие отрасли промышленности, создать высокие технологии, вооружить первоклассную армию, разгромить самого сильного в истории войн агрессора, добиться военно-стратегического паритета с объединенным блоком наиболее развитых западных капиталистических государств. Это один из самых поразительных феноменов полной драматизма российской истории последнего столетия, который не отрицали даже самые заклятые враги Советского государства (вспомним, например, Черчилля).

Все это сопровождалось расцветом образования (в частности, была ликвидирована неграмотность), культуры и науки. Были развернуты серьезные фундаментальные исследования по многим направлениям математики и естествознания, особенно физики, механики и химии, стимулировавшие развитие техники и оборонного потенциала. Задумаемся над вопросом: по каким причинам вскоре после Октябрьской революции произошел невиданный взлет науки в России и в стране выросла целая плеяда таких признанных во всем мире ученых-физиков, как А.Ф. Иоффе, С.И. Вавилов, Я.И. Френкель, Д.В. Скобельцын, П.Л. Капица, Н.Н. Семенов, В.А. Фок, Д.С. Рождественский, Л.И. Мандельштам, И.Е. Тамм и другие? Здесь перечислены только физики старших поколений. С.Н. Вернова и ряд других ис-

следователей, уже названных выше, по возрасту можно отнести к первому поколению их «научных детей». Вспомним, что дореволюционная Россия имела сильную химическую школу, но заметно отставала от ведущих европейских держав в области физико-математических наук.

Дело не только в появлении одаренных, волевых и высоконравственных людей. Таких людей в России всегда было немало. Главная причина – это общественная востребованность науки и труда ученых. Лозунг Ленина «Учиться, учиться и учиться» не был пустой фразой, он энергично воплощался в жизнь. Новый политический строй, несмотря на все издержки и жестокости его утверждения, провозгласил строительство новой жизни на **научной основе**, поставил целью и осуществил всеобщее среднее образование. В стране при действенной поддержке государства открывались новые школы, рабфаки, учебные и научные институты. Труд ученых высоко оценивался обществом и государством, он находил широкое общественное признание. В эту эпоху в науку стремились наиболее способные и энергичные люди – созидатели, видевшие в служении науке служение обществу. Большую роль сыграла и общая атмосфера исторического оптимизма и коллективизма, формировавшаяся не только умелой пропагандой, но и реальными успехами в строительстве нового государства. Забота о благе общества была провозглашена главной задачей каждого сознательного человека. И лучшие представители российской, а позднее советской интеллигенции с готовностью откликнулись на этот призыв.

Уже к началу Великой Отечественной войны страна сумела добиться значительных успехов в экономике и оборонной промышленности. В противном случае ей было бы не выстоять под напором агрессора, который располагал экономическими ресурсами и человеческим потенциалом всей континентальной Европы. К тому времени после окончания Гражданской войны в России прошло всего около 20 лет.

Теперь же нам требуется основательная «перезагрузка» программы, чтобы стимулировать реальный экономический, научный и культурный рост страны, который только и может создать условия для достойного существования ее народа.

2009 год

КАКИМ МНЕ ЗАПОМНИЛСЯ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕРНОВ

В.А. Дергачев

Долгие годы я не мог писать о Сергее Николаевиче (хотя меня просили поделиться своими воспоминаниями к предыдущим его юбилеям) именно потому, что смущала меня та близость и понимание, которые установились у меня с Сергеем Николаевичем после «бурных» организационных мероприятий 1968–1969 гг. по космическим лучам, в которые мне пришлось активно окунуться и много времени отдать на их проведение. Сдерживало, конечно, сомнение в необходимости доводить до широкой общественности личное, которое привязало меня к этому человеку, тем более что многое о Сергее Николаевиче уже сказано. Но приближение очень большой юбилейной даты Сергея Николаевича и обращение ко мне со стороны его детей привело к мысли, что здесь никак нельзя не добавить от себя несколько добрых слов об этом человеке сложной эпохи. Мы, люди, не имеем права подвергать забвению все хорошее, что было сделано другими.

В жизни мне встретилось очень многих ярких личностей, но в особом ряду стоит Сергей Николаевич Вернов, с которым я имел счастье общаться с 1968 года практически до момента его кончины. Немного о себе.

В 1964 году мне, студенту физико-механического факультета Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина, одному из немногих улыбнулась удача принять участие в совещании по космическим лучам, которое проходило с 24 по 29 августа 1964 года в городе Апатиты Мурманской области. Прекрасным днем 22 августа впервые в своей жизни я улетал на это совещание по космическим лучам вместе с учеными из Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе АН СССР. Среди них я был самый молодой участник совещания. Прекрасным еще и потому, что мне, студенту, на командировочные расходы было выделено финансирование, причем вместо 2 руб. 60 коп. в сутки выделялись «северные» 3 руб. 50 коп, что было также немаловажным для студента.

Совещание проводилось по решению Научного совета Академии наук СССР по комплексной проблеме «Космические лучи» под председательством Сергея Николаевича Вернова. Еще студентом 3-го курса физико-механического факультета кафедры «Экспериментальная ядерная физика» Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина я пришел

в Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе в группу Гранта Егоровича Кочарова, где начинались перспективные исследования по космическим лучам на низкофоновой установке, а сам Грант Егорович увлекся физикой нейтрино Солнца, где кроме интересной физики предстоял большой объем расчетов. Поскольку место на низкофоновой установке, пока я проходил оформление, было занято другим сотрудником, Г.Е. Кочаров привлек меня к исследованию ядерных реакций на Солнце и анализу связи нейтринного излучения Солнца с температурой и состоянием вещества в его недрах. Хотя меня, экспериментатора, естественно, тянуло к эксперименту, но и эту научную работу надо было кому-то начинать. Увлечшись этим направлением, которое оказалось очень перспективным, в конечном счете, еще за год до окончания института, я фактически подготовил дипломную работу «Нейтринная термометрия недр Солнца», которую должен был защищать в 1965 году.

На совещании в Апатитах я с большим любопытством и интересом следил за выступлениями ученых. Мне все было в новинку, ведь я был новичком на таких мероприятиях. Встает вопрос: зачем я делаю такое пространное вступление? Дело в том, что в работе совещания предполагалось участие академика Бруно Максимовича Понтекорво, известного специалиста по физике элементарных частиц, ученика знаменитого нобелевского лауреата по физике Энрико Ферми. Бруно Максимович предсказал два вида нейтрино – электронные и мюонные, и интерес к его личности подогревался многочисленными историями о его внезапном исчезновении из Италии и последующим появлением в Советском Союзе. Как тут было устоять, чтобы воочию не увидеть самого Понтекорво. Это была мечта. Естественно я с большим вниманием слушал не только обзорные доклады Г.Т. Зацепина и Б.М. Понтекорво по физике нейтрино, но и другие оригинальные доклады, связанные с физикой космических лучей. Мне, можно сказать, повезло с дебютом. И еще раз для себя я решил, что ничего лучшего в науке, кроме нейтринной физики, нет. Какие-то там вариации космических лучей низких, средних энергий, кто в этом «мусоре» разберется? Неужели можно променять на них нейтрино? Нет.

Но жизнь оказалась более сложной. И, может быть, моя первая неудача (это я уже после домыслил) с нейтрино случилась в Апатитах: фото «нейтринщика» Бруно Максимовича не получились совсем. Я увлеченно продолжал заниматься солнечным нейтрино после защиты дипломной работы, получив распределение в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, и к 1968 году подготовил несколько публикаций в соавторстве. Стояла задача – просчитать модель Солнца на ЭВМ (а для этого надо было стать в очередь, так как вычислительные мощности тогда были ограниченны), и Грант Егорович считал, что материал для кандидатской диссертации будет готов.

В начале 1968 года Г.Е. Кочаров попросил меня помочь в подготовке и проведении Пятой Всесоюзной школы по космофизике в Апатитах. По просьбе Сергея Николаевича он побывал в Апатитах, встретился с директором Полярного геофизического института Сергеем Ивановичем Исаевым и после встреч с председателем Кольского филиала Академии наук СССР Е.К. Козловым и секретарем горкома партии г. Апатиты вопрос о проведении зимней школы по космофизике, ставшей в Академии наук уже до этого традиционным мероприятием, был решен положительно. Начались наши поездки в Москву к Сергею Николаевичу по согласованию состава оргкомитета школы, программы, определения докладчиков и других организационных вопросов. С тех пор я в роли ученого секретаря школ, ряда семинаров, симпозиумов и конференций по космическим лучам, ученого секретаря научного совета «Космические лучи» в течение ряда лет стал часто бывать в НИИЯФ МГУ у Сергея Николаевича, где он был директором, и в Отделении ядерной физики президиума АН СССР, где Сергей Николаевич был заместителем академика-секретаря Отделения.

Следует сразу отметить особую роль академика Сергея Николаевича Вернова в развитии науки о космических лучах и организации научных мероприятий (конференций, совещаний, симпозиумов, семинаров, школ) по космическим лучам. Он неуклонно проводил линию на организацию этих научных мероприятий не только в Москве, но и в других городах (Апатитах, Иркутске, Якутске, Алма-Ате, Ереване и др.). Это, безусловно, способствовало развитию там науки, привлекало внимание к космическим лучам не только молодых ученых, но и местных властей, от которых кардинально зависело развитие инфраструктуры исследований.

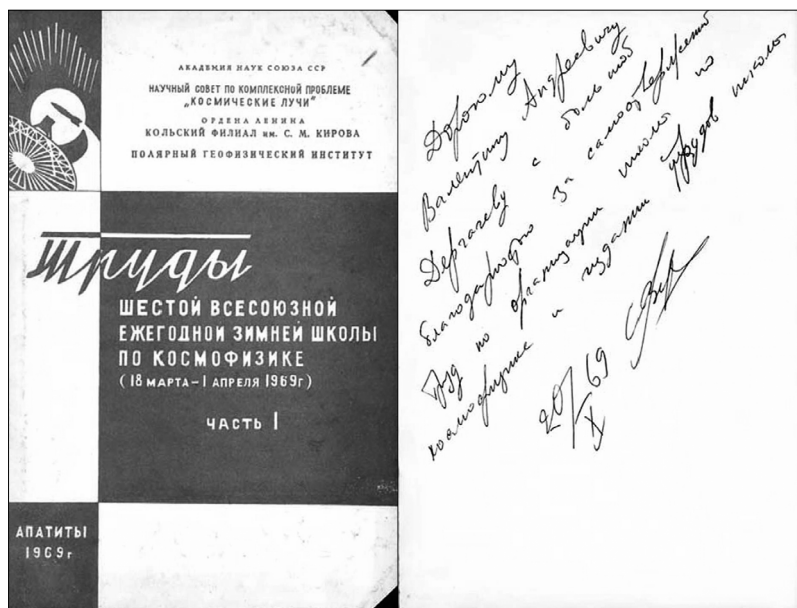
В отличие от совещаний, конференций, симпозиумов проводимые школы по космофизике имели свою специфику. Главная задача таких школ – приобретение новых знаний для участников, работающих в различных областях физики, по различным направлениям физики космических лучей, получение ясного представления об общем состоянии и перспективах космической физики, установление взаимосвязи между различными природными процессами. Сергей Николаевич исходил из необходимости обсуждения на заседаниях школы состояния и перспектив главных направлений космической физики и ознакомления участников школы с достижениями в близких к космофизике научных областях, касающихся нейтринной астрофизики, космологических объектов, реликтового излучения в эволюции Вселенной, физики Солнца и др., что требовало привлечения к участию в школе в качестве лекторов известных ученых. Выбору докладов и лекций обзорного характера, представляющих интерес для широкого круга участников, Сергей Николаевич уделял особое внимание. Естественно, что регламент для проведения школы требовал значительно большего времени, чем регламент принятый в то время в Академии наук для совещаний и семинаров.

К моменту включения меня в оргкомитет по организации, подготовке и проведению зимней школы по космофизике в Апатитах в 1968 году, в предыдущие годы уже состоялись четыре школы, поддержанные решением секции космических лучей и радиационных поясов Межведомственного комитета. Инициатива проведения всесоюзных школ по космофизике принадлежала группе энтузиастов, возглавляемой Л.И. Дорманом. Первая Всесоюзная зимняя школа по космофизике состоялась в г. Алма-Ате с 22 января по 7 февраля 1964 г. В заседаниях школы приняли участие 50 научных сотрудников из 16 учреждений страны. Было заслушано и обсуждено 17 научных докладов. Вторая Всесоюзная школа, организованная Казахским государственным университетом, также прошла в Алма-Ате в период с 23 января по 6 февраля 1965 г.: в работе приняло участие 70 человек, было заслушано 37 докладов. Третья и Четвертая Всесоюзные зимние школы были организованы Институтом геофизики Академии наук Грузинской ССР в Бакуриани с 15 по 26 февраля 1966 г. и с 20 февраля по 4 марта 1967 г. соответственно. В работе Третьей школы приняли участие 80 ученых, заслушано 39 докладов, а в Четвертой – 100 ученых и 70 докладов. Председателем оргкомитета Третьей и Четвертой школ был С.Н. Вернов. Так что к моменту организации Пятой зимней школы по космофизике в Апатитах можно было использовать опыт проведения предыдущих.

Пятая и Шестая зимние школы по космофизике под председательством С.Н. Вернова были поддержаны решением президиума АН СССР и проведены в г. Апатиты в Полярном геофизическом институте: Пятая – с 21 марта по 5 апреля 1968 г., Шестая – с 18 марта по 1 апреля 1969 г. В работе Пятой школы приняли участие 150 ученых с 57 докладами, а в работе Шестой – 300 ученых со 116 докладами. В Полярном институте в то время имелись хорошо оборудованные лаборатории, в которых проводились исследования ионосферы, полярных сияний, магнитного поля Земли и космических лучей. И я хочу сказать, что мне посчастливилось сотрудничать с Сергеем Николаевичем и его коллегами еще долгое время после этих школ при организации ряда других мероприятий по космической физике.

Оргкомитет Пятой и Шестой школ, по крайней мере, за 3–4 месяца намечал программу заседаний, в связи с чем обращался к известным ученым с просьбой выступить с лекциями. Одновременно рассылалась информация во многие научные учреждения о предстоящих мероприятиях. Нам удалось после анализа полученных ответов от ученых составить конкретные программы и издать их до начала работы школ. Так уж получилось, что основная работа по организации и проведению Пятой, а затем и Шестой школы по космофизике пришлось на сотрудников ФТИ им. А.Ф. Иоффе, и естественно, все вопросы, включая размещение участников (что было очень непростым делом в маленьком городе), Сергей Николаевич обсуждал с Г.Е. Кочаровым и со мной. Кроме того, Сергей Николаевич подчер-

кивал важность публикации трудов школы и предложил попробовать издать их (по предыдущим школам материалы школ не издавались). Понимая, что на следующий год будет очередная школа, труды школы необходимо было издать в кратчайший срок. Мы взялись за это, до конца не понимая всех трудностей, которые нас ожидали. До конца мая 1968 года мы принимали статьи, затем проводилась стадия научного и литературного редактирования, тщательная проверка, в ряде случаев переделка рисунков и таблиц, перепечатка материалов на пишущей машинке, вписывание формул, проверки, исправление опечаток и, наконец, печатание на ротапринте. В результате в 1968 году мне пришлось провести в Апатитах более трех летних месяцев. Приходилось работать плотно не только днем, но и в белые ночи. К этому времени у нас установился плотный контакт с редакционно-издательской группой и сотрудниками ротапринта. В результате, труды Пятой школы издали через четыре месяца после окончания школы. Сергей Николаевич был очень доволен, при всяком удобном случае он подчеркивал важность этой работы и демонстрировал сборник.



Благодарность С.Н. Вернова

Правда, это широкое оповещение ученых о школе сыграло с нами злую шутку при подготовке следующей, Шестой школы. Количество предложенных докладов и лекций было столь велико, что все предложения не могли быть включены в повестку. И наплыв участников в школу был, как никогда, велик – 300 ученых. Я не буду описывать проблемы с размещением и как

Сергей Николаевич организовывал поход к секретарю горкома, который вошел в нашу ситуацию и обратился к местным жителям, получившим ордера на квартиры в сданном доме, в течение двух недель, пока идет школа, не заселять полученные ими квартиры в подъезде одного из домов. Вот каков авторитет был у науки в то время!

К моменту проведения Шестой школы по космофизике мы сблизились со всем ученым миром в г. Апатиты и регулярно обсуждали многие вопросы с Сергеем Николаевичем не только в Кольском филиале АН СССР с заместителем председателя президиума филиала А.Н. Воронковым и ученым секретарем филиала Ю.А. Шашмуриным, которые оказали нам существенную помощь в организации печатания материалов школ на ротапринте. Директор ПГИ С.И. Исаев и его ученый секретарь Ю.А. Волков вникали во все проблемы «школьников», организовывали досуг участников. У ряда сотрудников ПГИ мы побывали дома и оценили северное радушие Ю.А. Волкова, Л.Л. Лазутина, И.Н. Капустина и др. Фактически мы сроднились, и спустя десятки лет наши встречи с учеными из ПГИ происходили по-родственному.

Однажды в перерыве между заседаниями школы членам оргкомитета организовали поездку в научный центр ПГИ на станции Лопарская под Мурманском с заездом в оленеводческий совхоз. Сергей Николаевич простудился и остался в Апатитах. По дороге обратно разыгралась сильная снежная буря, в общем, к вечеру мы не смогли вернуться. Сергей Николаевич стал беспокоиться. Из гостиницы сообщили, что участники не вернулись. Сергей Николаевич знал, что у меня был телефон (мне с семьей, поскольку я «практически» прописался в Апатитах на все время проведения школы, была предоставлена квартира одного из сотрудников, который уехал в длительную командировку), и вот уже около полуночи (а мы еще не вернулись) он позвонил по телефону и спросил: «Мужчина у вас дома?» Жена ответила: «Да, он давно в кровати». «Странно», – только и ответил Сергей Николаевич. А мужчиной был мой маленький сын, который, естественно, спал. Конечно, Сергей Николаевич стал выяснять, кто ему дал неверную информацию, будто бы мы не вернулись, и еще больше забеспокоился. Когда же часа в два ночи все вернулись, Сергей Николаевич еще не отдыхал, в оргкомитете сказали, что его что-то беспокоит. Утром Сергей Николаевич, увидев меня и Г.Е. Кочарова, позвонил ему и что-то стал ему рассказывать. Потом раздался смех, и Сергей Николаевич позвонил мне и сказал, что он не знал, как выйти из положения, что у меня в квартире был другой мужчина, и поэтому попросил совета Гранта Егоровича в этой деликатной проблеме. Эта проблема разрешилась просто.

Как-то однажды во время перерыва между заседаниями, прохаживаясь по залу, мы обсуждали возможность включения дополнительного сообщения на вечернее заседание. У стенда с программой стоял один из участников.

Сергей Николаевич, указав на него, сказал: «Обратите внимание на этого молодого ученого, он далеко пойдет». Этот молодой ученый был Михаил Игоревич Панасюк. И Сергей Николаевич не ошибся.

Из-за огромного объема материалов оргкомитет Шестой школы принял решение опубликовать главным образом приглашенные лекции и обзорные доклады, представляющие интерес для широкого круга исследователей. На заседании Научного совета по комплексной проблеме «Космические лучи» в последний день работы Шестой школы Сергей Николаевич дал высокую оценку деятельности организаторов школы. Естественно, что и Труды, как и Пятой школы, предстояло издать в короткий срок, что и было выполнено (труды были изданы в двух частях). Не могу не привести написанную Сергеем Николаевичем на титульном листе Трудов благодарность.

Сергей Николаевич очень любил Ленинград и физику космических лучей. Эта любовь привела к тому, что с 1969 года в Ленинграде в летний период белых ночей под руководством Сергея Николаевича ежегодно стали проводиться международные семинары, посвященные отдельным вопросам физики космоса, с привлечением гостей из других стран. Первый семинар состоялся с 3 по 7 июня в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе, и, открывая его, вице-президент АН СССР академик Б.П. Константинов (безвременно скончавшийся 9 июля 1969 г.) высоко оценил идею проведения таких семинаров. Естественным было издание Трудов семинара в текущем году. И здесь Сергей Николаевич опирался на нас. Конечно, организация и проведение этих мероприятий отнимали много времени. Особенно много рутинной работы требовало издание трудов в то время ротاپринтным способом, и это ложилось на плечи нашего небольшого коллектива. В целом 1969 год оказался очень напряженным: времени на науку практически не оставалось. Более того, я к этому времени втянулся в новую научную работу, связанную с вариациями космических лучей (с которыми я, как писал выше, не собирался связывать свою научную деятельность) в рамках постановления президиума 1968 года по комплексной проблеме «Астрофизические явления и радиоуглерод». Эта новая для меня направленность исследований требовало не только кабинетной работы с материалами, но и организации сети радиоуглеродных лабораторий в ряде институтов СССР. На конец 1969 года в Тбилисском университете было запланировано проведение Всесоюзного совещания по этой проблеме, куда я должен был уехать в командировку для организации и проведения совещания и издания Трудов.

Сергей Николаевич предложил издавать Труды последующих семинаров в НИИЯФ МГУ, поскольку в нем имелась более мощная база и можно было привлечь большее число сотрудников к этой работе. И Труды Второго и Третьего Ленинградских семинаров были изданы в НИИЯФ МГУ, правда, в год проведения семинара этого не удавалось сделать.

Сергей Николаевич считал очень важным быстрое издание материалов семинара и попросил Г.Е. Кочарова взвесить наши возможности. Грант Егорович, помню, сказал, что в этом деле все зависит от решения В.А. Дергачева. И как я мог отказать Сергею Николаевичу! Эту благородную лямку я тянул практически до последнего семинара, который проводился под руководством Сергея Николаевича. При жизни Сергея Николаевича было проведено 12 Ленинградских семинаров, на которые с большим удовольствием приезжали ученые из различных стран и выступали с обзорными докладами с самой новой информацией по тематике предстоящих семинаров, которая каждый год посвящалась различным проблемам космофизики, бурно развивавшейся в 1970–1980-е годы.



На открытии VIII Ленинградского семинара по космофизике: выступает А. Шомоди (Венгрия), сидят: Б. Кухович (Польша), С.Н. Вернов, Г.Е. Кочаров, Дж. Симпсон (США), В.А. Дергачев, Е. Багге (ФРГ), П. Повинец (Чехословакия)

Как пример, можно привести VIII Ленинградский семинар, который проходил в ФТИ им. А.Ф. Иоффе с 25 по 27 сентября 1976 г. и был посвящен теме «Активные процессы на Солнце и проблема солнечных нейтрино». Семинар открыл С.Н. Вернов. С докладами выступали известные ученые различных стран: из СССР – Г.Е. Кочаров, Г.В. Домогацкий, Н.Н. Степанян, Б.В. Сомов, Б.И. Лучков, М.И. Пудовкин, В.А. Крат, Т.Н. Чарахчьян, А.З. Долгинов, А.К. Лаврухина, Л.И. Дорман, И.М. Подгорный, Б.М. Владимирский и др.; из Венгрии – проф. А. Шомоди, д-р Д. Бенко, д-р Г. Эрдеши; из Польши – д-р З. Кобылинский, проф. Б. Кухович; из США – д-р Дж. Ворпал и проф. Дж. Симпсон; из Чехословакии – д-р К. Кудела, д-р С. Пинтер, проф. П. Повинец, из ФРГ – проф. Е. Багге. В дискуссии активно участвовали проф. Л.Э. Гуревич и академик Б.М. Понтекорво. На фото запе-

чатлен момент открытия семинара, в президиуме среди наших ученых можно видеть проф. А. Шомоди из Венгрии, Дж. Симпсона из США, Е. Багге из ФРГ, П. Повинеца из Чехословакии. Об успешном завершении семинара свидетельствует банкет по его окончании.



На банкете после Ленинградского семинара: Сергей Николаевич Вернов с супругой, Игорь Максимович Подгорный с супругой, Г.Е. Кочаров, В.А. Дергачев, Т.Н. Чарахчян

Ученые отмечали плодотворность этих семинаров. Кроме того, нам пришлось вместе проводить КОСПАР, международные симпозиумы по космическим лучам и конференции по космическим лучам в Ленинграде, Якутске и в других городах. Юбилейная, 30-я конференция по космическим лучам была проведена в Ленинграде в 2008 году, где снова вспоминали Сергея Николаевича.

Часто бывая в НИИЯФ МГУ в то время, я убедился в его большой заботе о сотрудниках и о его доступности для всех, от руководителей отделов до простого работника. Помню, как-то машинистка из канцелярии, когда мы проходили по коридору, сказала, что у нее есть некоторые проблемы, и Сергей Николаевич, не ссылаясь на свою занятость, стал внимательно вникать в ее проблемы. Сергей Николаевич никогда не притворялся, никогда не хотел поучать, а скорее, я сказал бы, учить. С.Н. Вернов ко всем относился ровно и уважительно.

Ради науки, мягкость Сергея Николаевича могла вмиг улетучиться. И я два раза видел это. Как-то Грант Егорович Кочаров возмутил Сергея Николаевича переносом уже согласованных во всех инстанциях сроков семинара по космофизике. Возникла бурная дискуссия. Второй раз Сер-

гей Николаевич вспылел на заседании Научного совета «Космические лучи» после конференции в Самарканде, когда анализ работы нейтронных мониторов показал, что не все станции хорошо работают и станции, которые не дают результатов из года в год, необходимо закрыть. Конечно, эта идея не всех устраивала. Сергей Николаевич сказал довольно многих резких, но справедливых слов.

До сих пор в моей памяти живет то особое, приподнятое, даже радостное настроение, которое сопровождало каждое мое посещение Сергея Николаевича в Москве в НИИЯФ МГУ или в Отделении ядерной физики, в Ленинграде, дома у его дочери Лены на Гражданском проспекте. Сейчас, спустя почти 40 лет, очень трудно в деталях вспомнить содержание этих долгих разговоров на двоих. Почти при каждом приезде в Ленинград был звонок от Сергея Николаевича, и он спрашивал меня о том, какие вопросы остаются нерешенными и какая помощь требуется. Конечно, всегда обсуждались и предварительная и окончательная программы проводимых мероприятий. Помню как-то, когда я пришел к Сергею Николаевичу на Гражданский проспект, он был простужен, сказал, что лечится простым житейским способом, и спросил, как я смотрю на рюмку «Зубровки», лечебные свойства которой домашние не понимают. Я здесь оказался на стороне Сергея Николаевича.

Обычно, когда я уходил после встречи с Сергеем Николаевичем из квартиры, он говорил: «Давайте прогуляемся, я проведу вас до дома». Я понимал, что Сергею Николаевичу нужна прогулка, и мы шли сначала от квартиры Лены к моему дому, а потом и назад. Чувствовалось, что Сергею Николаевичу хотелось поделиться своими мыслями о преемниках, о тех, кто будет продолжать его дело. Так, поднимались вопросы при обсуждении кандидатур на должность заместителя директора НИИЯФ МГУ, на руководство Байкальским нейтринным экспериментом, которому он уделял большое внимание. Помню, как он тонко понимал эту ситуацию. Он говорил, что очень трудно найти такого руководителя, который обладал бы высокими моральными человеческими качествами и в то же время мог бы взаимодействовать с партийными органами, от которых можно было получить помощь или провалить дело. Надо было не только обладать талантом, стойкостью и работоспособностью, но и уметь ориентироваться в политической жизни страны в тех условиях, чтобы получить множество непревзойденных результатов, которые благодаря усилиям С.Н. Вернова удалось получить. Расставаясь после каждой прогулки, Сергей Николаевич говорил: «Ну, вот мы обсудили не только научные, но и политические проблемы».

Как приходилось работать Сергею Николаевичу, может быть, станет ясно после двух примеров. Мне как-то пришлось быть с Сергеем Николаевичем на партийном собрании в МГУ, он не мог не пойти, хотя и был занят, объясняя мне, что его отсутствие может послужить задержкой в осуществлении

очередного научного эксперимента. Сергей Николаевич глубоко понимал многие моменты того времени и необходимость их учитывать не ради себя, а для дела, которое он вел. Далее, вспоминаю 1977 год и Международную конференцию по космическим лучам в Болгарии. Существовало правило, что во главе делегации должен быть председатель, заместитель председателя и ученый секретарь, с которых и будет спрос, если возникнут какие-либо проблемы во время пребывания за рубежом. При вылете из международного аэропорта в Москве на посадку в самолет пограничным контролем не был допущен Л.И. Дорман, а у него с соавторами на конференции было заявлено около сорока докладов. Известно, что в это время в СССР остро стоял вопрос о диссидентах и постоянно возникали проблемы с выездом за границу. По прилете в Болгарию перед нашей большой делегацией встал вопрос: как быть? Возможен международный скандал, ожидалось, что нам устроят обструкцию. Было решено, что на открытии конференции не должен присутствовать Сергей Николаевич. Решил отсутствовать и заместитель председателя. С тяжелым чувством я открывал одно из заседаний. Но все обошлось! Не было выступлений против политики СССР. Зато докладчики на том заседании могли затратить время на оригинальные десятиминутные доклады существенно большее время, ведь доклады с участием Л.И. Дормана были сняты.

Во время одного из моих приездов в НИИЯФ МГУ для обсуждения программных вопросов по очередному Ленинградскому семинару, когда я вошел в кабинет к Сергею Николаевичу, он сказал, что у него сейчас возникли проблемы, поскольку надо пойти домой: безвыходное положение – у его больной жены Марии Сергеевны, за которой необходим непрерывный уход, в данный момент никого не оказалось. Извиняясь, что вовлекает меня, чужого человека, в свои семейные дела, он предложил пойти вместе с ним, заодно пообедать у него дома и обсудить вопросы. Обед был студенчески прост: на столе, накрытом скатертью, были сыр, колбаса и бутылка сухого вина. Когда Сергей Николаевич рассказал мне про тяжелую болезнь Марии Сергеевны и уходе за ней, я понял, сколько жизненных сил отнимала у него эта постоянная боль. Он трогательно заботился о больной жене.

Сергей Николаевич был уникальной личностью, и вся его жизнь посвящена науке. Давайте признаемся, что у нас и сейчас нет другого такого ученого в области физики космических лучей, способного в равной степени объединить оба аспекта космических лучей – космофизический и ядерно-физический.

Мне трудно дать точное определение нашим отношениям с Сергеем Николаевичем. Он был старше меня и был для меня, скорее всего, наставником. На протяжении многих лет я просто испытывал притяжение, потребность в общении, обмене мнениями. Я благодарен судьбе, что имел счастье

активного духовного общения с такой незаурядной личностью, как Сергей Николаевич. Через Сергея Николаевича мир космических лучей стал частью моей жизни. Он доверял мне, а порой и защищал. При моей встрече с ним, как правило, обсуждались не только научные проблемы, но и семейные. Как-то после апатитских школ Сергей Николаевич, поинтересовавшись моими научными успехами и жилищными условиями (а мы с женой и маленьким сыном в то время жили в полутемной комнате на Васильевском острове), предложил должность заместителя директора филиала НИИЯФ МГУ в Дубне. Это было слишком серьезное предложение, которое я не смог принять: я еще не защитил кандидатскую диссертацию, не имел никакого опыта руководящей работы, естественно, боялся, что не справлюсь с такой работой. В любом случае я не мог подвести Сергея Николаевича.

Сергея Николаевича двигало стремление к объективности в оценке полученных результатов. Сергей Николаевич при одной из встреч поднял вопрос о моей докторской диссертации (до этого он с интересом расспрашивал меня о моих работах по использованию радиоуглеродного метода для изучения различных природных процессов), попросил показать материалы диссертации и, ознакомившись, стал обсуждать, обратив особое внимание на математическую обработку, убеждал меня в необходимости консультации с ведущими математиками, поскольку используемые в моей диссертации методы он не использовал и не может сказать о надежности их использования в астрофизике и геофизике. Предлагал подумать и, если необходимо, организовать консультацию с математиками.

Я чувствовал особое его отношение к эксперименту, и это проявилось, когда он попросил меня ввести в проблемы радиоуглеродного метода исследований природных процессов. Он мне говорил, что если создал аппаратуру для мониторингования каких-либо процессов в течение долгого времени, не старайся сразу вносить изменения, можешь потерять информацию. И приводил в пример исследования космических лучей с помощью баллонов. Длительные исследования простейшей аппаратурой дали классные результаты. Он действительно считал, что без эксперимента физика космических лучей не может быть понята полностью. «Ни в коем случае не бросайте эксперимент», – говорил мне Сергей Николаевич. И я продолжаю его «экспериментальное» завещание, возглавляя лабораторию космических лучей, в которой в настоящее время проводятся два космических эксперимента – исследование зарядового и энергетического спектров космических лучей с помощью твердотельных трековых детекторов, устанавливаемых на станции МКС и комптоновский поляриметр на спутнике «ФОТОН-КОРОНАС».

2009 год

С.Н. ВЕРНОВ – УЧЕНЫЙ, МУДРЫЙ УЧИТЕЛЬ И НАСТАВНИК

А.Т. Абросимов

Через осуществление великих целей человек
обнаруживает в себе и великий характер,
делающий его маяком для других.

Гегель

Академик С.Н. Вернов известен как ученый с мировым именем, и многолетнему его коллеге и соавтору нескольких его работ мне, конечно, знакома его большая многоплановая деятельность на ниве научной – в космических лучах и в космофизике. Но на жизненном моем пути он всегда был еще и мудрым учителем, и благожелательным наставником, о чем идет речь в первой части этой статьи. Во второй части – отзывы о С.Н. Вернове сообщества английских ученых, в которых они высоко оценивают его выдающиеся научные достижения и попутно рассказывают о своих работах, тесно связанных с тематикой исследований С.Н. Вернова.

1. С.Н. Вернов – каким помню его и в науке и в быту

О научных достижениях академика С.Н. Вернова в области исследований космических лучей и околоземного космического пространства достаточно подробно написали мои коллеги-физики¹; равно как там же было подчеркнуто и то, что «в течение многих лет С.Н. Вернов руководил развитием всей физики космических лучей в нашей стране». Здесь лишь отмечу, что в моей памяти устойчиво сохраняется такой перечень нескольких его выдающихся работ: установление фундаментального факта о природе первичного космического излучения, открытие внешнего радиационного пояса Земли, открытие закономерности в энергетическом спектре первичного космического излучения.

¹ В сборнике, опубликованном к 90-летию Сергея Николаевича «С.Н. Вернов. Ученый, педагог и популяризатор науки» (М., 2000), в юбилейном издании к 50-летию НИИЯФ МГУ (М.:1996) и в «Воспоминаниях об академиках Д.В. Скобельцыне и С.Н. Вернове» (М., 1995).

Избегая говорить здесь, даже кратко, о работах, проводимых под руководством С.Н. Вернова в Отделе частиц сверхвысоких энергий – в 20-м корпусе МГУ, где я работал, скажу только, что и я, как и многие другие мои коллеги-космики из НИИЯФ МГУ, с полным основанием могу теперь сказать: «Все мы – птенцы гнезда Вернова». Кто они – ученики С.Н. Вернова? Ограничусь тем, что буду говорить только о тех сотрудниках, которые начинали проводить под руководством Сергея Николаевича первые эксперименты по исследованию широких атмосферных ливней космических лучей в 20-м корпусе МГУ.

Во второй половине 1950-х годов С.Н. Вернов доверил создание новой большой установки для изучения широких ливней (потом ее стали называть уникальной) молодому коллективу сотрудников, недавно окончивших физический факультет университета. Непосредственным руководителем этих работ стал Г.Б. Христиансен, тоже молодой специалист, только что окончивший аспирантуру под руководством академика Д.В. Скобельцына. В нашу группу, пока она еще не составляла лабораторию, вместе со мной вошли мои однокурсники Ю.А. Нечин, П.С. Чикин и А.А. Бедняков (выпуск физического факультета МГУ 53-го года). Они, так же как и я, выполняли дипломную работу под руководством Г.Б. Христиансена. Вслед за нами в группу пришли выпускники факультета двух следующих за нами курсов: Б.А. Хренов и Н.Н. Горюнов (выпуск 54-го года), Г.В. Куликов (выпуск 55-го года) и аспиранты В.А. Дмитриев (защитил диссертацию в 1959 г.), Г.С. Мухиби (из Афганистана, диссертацию защитил в 1963 г.), З.С. Стругальский (из ПНР), С. Михалык (из ПНР, диссертацию защитил в 1961 г.). Школа академика С.Н. Вернова сохранилась и по сей день: дело продолжили его ученики и ученики академика Г.Б. Христиансена – профессор Н.Н. Калмыков и сотрудники 20-го корпуса МГУ. И если бы были необходимые материальные возможности, то НИИЯФ МГУ смог бы расширить в большом масштабе исследования широких ливней космических лучей.

После этого короткого, но необходимого вступления, поскольку речь идет о крупном ученом, выдающейся личности, руководствуясь и вдохновляясь изречением известного и авторитетнейшего английского просветителя XVIII века С. Джонсона (который писал в книге «О пользе биографий»: «Жизнеописания часто критикуют за то, что они не отличаются яркими запоминающимися эпизодами»), расскажу о моих встречах и беседах с С.Н. Верновым в рабочей обстановке – в лаборатории, на семинарах, на конференциях, вспомню также и несколько эпизодов из жизни Сергея Николаевича, непосредственно не связанных с нашей профессиональной деятельностью.

Знакомство с С.Н. Верновым состоялось у меня почти сразу после окончания физфака МГУ: он принял деятельное участие в самом начале моей научной карьеры – добился отмены моего призыва в армию (да еще в каче-

стве рядового, так как во время учебы на спецотделении Строение вещества факультета я был освобожден от военных занятий и, следовательно, офицерского звания не получил). Затем Сергей Николаевич вновь обратил внимание на мое продвижение, но уже по инженерной стезе: я принимал деятельное участие в создании в 20-м корпусе МГУ годоскопической установки для исследования широких ливней космических лучей и вскоре был назначен начальником этой установки. В какой-то момент по некому внутреннему убеждению, порыву (супруга уверяет, что по ее инициативе), я принял решение – отойти от инженерной работы в сторону научной, заняться непосредственно экспериментом, настроиться на защиту диссертации. За это намерение Сергей Николаевич строго мне выговаривал: не должен я бросать эксплуатацию установки, поначалу, пожалуй, начал даже сердиться. Потом, в том же разговоре, долго еще уговаривал меня остаться в прежней должности, а затем неожиданно так заключил нашу беседу – сказал, что, в общем, одобряет мой выбор, что мне уже пора вплотную заняться научными исследованиями и только частично участвовать в решении технических вопросов. И добровольно перешел я на должность с меньшим окладом – стал младшим научным сотрудником, ранее занимая сравнительно хорошо оплачиваемую должность старшего инженера. Наверняка было и еще много подобного рода примеров, показывающих заботу Сергея Николаевича о росте научных кадров его института.

Работа в этом новом для меня качестве принесла свои плоды – диссертацию написал и успешно защитил в 1965 году. В работе над диссертацией использовал как результаты экспериментов, полученные на упомянутой годоскопической установке, так и данные новой ее части: к тому времени, уже вполне самостоятельно, я создал комплекс приборов из 20 больших сцинтилляционных счетчиков – установку УЛС с новыми возможностями: при помощи измерений в наносекундном (!) интервале времен стало возможным проводить определение ориентации в пространстве осей широких ливней, иначе говоря, определять углы прихода этих ливней (выяснение вопроса о важности получения этой новой информации выходит за рамки этой статьи). И в том новом начинании во время разработки и создания сцинтилляционных детекторов Сергей Николаевич опять меня поддерживал: как-то однажды, посетив мою группу в 20-м корпусе, он вначале удивился сложности моего прибора для приготовления пластических сцинтилляторов (с обилием вспомогательной аппаратуры: термопар и самописцев, обратных холодильников и большого газового хозяйства). Но я пояснил, что это идет только сам процесс приготовления сцинтилляторов, а потом готовый сцинтилляционный счетчик будет так же удобен в экспериментах, как, скажем, любой другой детектор частиц. Сергей Николаевич те мои опыты одобрил.

Эксперименты по широким ливням в 20-м корпусе продолжались: из Англии и из Харькова к нам пришла новая методика исследований – воз-

возможность регистрировать радиоизлучение частиц высоких энергий космических лучей; мы применили ее на нашей установке для изучения ливней – развили метод, построили антенны, создали соответствующую регистрирующую аппаратуру; стали получать новые, весьма интересные экспериментальные данные. К тому времени НИИЯФ посетил научный сотрудник из Англии доктор Х. Аллан, работавший в университетах Лондона (Импириал-Колледж) и Лидса (Йоркшир) в области исследования радиоизлучения широких ливней космических лучей. Директор НИИЯФ С.Н. Вернов принял предварительное решение обменяться физиками: из Англии к нам в лабораторию приехал на 10 месяцев молодой специалист К. Нит, а меня Сергей Николаевич предложил направить для участия в экспериментах на полевую научную станцию в Йоркшире. Окончательное решение об этой моей долговременной командировке в научные институты Англии Сергей Николаевич принял во время Всесоюзной конференции по космическим лучам в Новосибирском научном городке, в августе–сентябре 1967 года. Как-то после окончания работы одной из секций той конференции Сергей Николаевич вместе со мной надолго уединился в кафе, где в обстоятельной беседе мы с ним детально обсудили все задачи и цели предстоящей моей командировки (за рубеж – в первый раз!).

В итоге в 1968–1969 гг. командировка в Англию состоялась, работа с Х. Алланом (тогда – моим коллегой, а в будущем – моим другом) и с его сотрудниками оказалось плодотворной.

У начала моей успешной научной карьеры, возможно, стоял все тот же первый визит Сергея Николаевича ко мне в группу сцинтилляционных счетчиков в 20-м корпусе МГУ и, конечно, весь последующий интерес его ко всем моим экспериментальным работам. Но тогда я не придавал должного значения тому визиту или не понял, до конца не осознал, какое благоприятное влияние он окажет на мой дальнейший научный рост (а он наверняка оказал таковое); может быть, уже тогда Сергей Николаевич решил, что если я «управляюсь» с такой сложной экспериментальной техникой, то мне можно доверить и большее, и он планировал некое устойчивое продолжение моей научной карьеры (и, действительно, так произошло).

Одержимость наукой, одержимость поиском нового и в науке и в технике – эта черта присуща всем выдающимся естествоиспытателям. Таков был и С.Н. Вернов. Всегда и во всем искал он проявление новшеств; правда, говорил мудро, диалектически: «лучшее – враг хорошего», очевидно, когда предполагал, что это новое вряд ли станет лучше проверенного временем старого. Так, после моего возвращения со стажировки в Англии Сергей Николаевич детально интересовался, что нового в методах исследования космических лучей я там узнал; освоил ли технику транзисторов (это было в самом начале их применения в экспериментальных устройствах в нашей области физики). Появились в научном обиходе компьютеры, и Сергей Ни-

колаевич приступил к освоению техники работы на компьютерах: помимо основного кабинета выделил себе отдельную комнату, без телефона и вне главного здания института, чтобы не прерывали его занятий. Так он умел полностью погружаться в то дело, которое в данный момент считал важным, отдаваясь ему целиком, не считаясь со временем.

Вся жизнь С.Н. Вернова была посвящена науке, и сам он говорил: «Наука требует жертв», эти его слова с пониманием повторяли сотрудники института, часто повторял их в лаборатории 20-го корпуса и Г.Б. Христиансен.

В 1968 г. С.Н. Вернов стал действительным членом Академии наук; в то время я был в упомянутой выше заграничной командировке; и вспомнились тогда слова, которые когда-то обронил в беседе со мной выдающийся математик нашего времени, глава международной школы топологов академик П.С. Александров. Павел Сергеевич говорил, что при избрании коллеги в академию он поздравляет его супругу, а не самого ученого, – тот-де, мол, уже всем ходом событий был морально подготовлен к избранию. Советом Павла Александровича, к сожалению, я не мог воспользоваться и осенью 1968 г. в коллективной телеграмме из Лондона поздравил самого С.Н. Вернова с избранием его действительным членом АН СССР.

В Москве, до моего переезда на работу в Дубну, С.Н. Вернов иногда приглашал меня в гости, благо он жил рядом с НИИЯФ, в квартире в северо-восточной башне Главного здания МГУ. Квартира Сергея Николаевича поражала обилием книг – были они и в кабинете и в коридоре. Сергей Николаевич с гордостью указывал мне на издания различных энциклопедий, рекомендовал приобрести как минимум Большую Советскую Энциклопедию. На это я отвечал, что не располагаю ни средствами для ее приобретения, ни местом, где можно было бы разместить это многотомное (30 томов!) издание.

И кстати, о месте, но, конечно, не столько для книг, сколько для проживания моей семьи: в то время я жил с женой и дочерью в коммунальной квартире ведомственного дома Минздрава в Тимирязевке (и до работы в университете добираться далековато). Сергей Николаевич лично обратился в Центральный профком МГУ с тем, чтобы меня приняли в члены жилищного кооператива; с помощью друзей цена на жилье оказалась приемлемой, не в пример сегодняшним ценам. Но добиться приема в кооператив – дело непростое, нелегкое, проблемы с приобретением жилплощади, как тогда, так и теперь, нешуточные, и помощь Сергея Николаевича была очень существенной.

В середине 1975 г. С.Н. Вернов в своем представлении ректору МГУ академику Р.В. Хохлову выдвинул меня как кандидата на должность директора филиала нашего института в Дубне. К концу того года после сравнительно небольших, на мой взгляд, чиновничьих проволочек приказ по университету и по НИИЯФ МГУ о моем назначении был издан в октябре 1975 г. И я вско-

ре выехал в Дубну работать в должности директора Филиала НИИЯФ с одновременным заведованием Лабораторией ядерных исследований в этом филиале. С.Н. Вернов на общем собрании сотрудников представил меня коллективу филиала; затем Сергей Николаевич взял на себя труд познакомиться с директорами лабораторий Объединенного института ядерных исследований (по масштабу исследований эти лаборатории – самостоятельные институты) и академиками А.М. Балдиным, Б.М. Понтекорво, И.М. Франком, членами-корреспондентами АН СССР Д.И. Блохинцевым и М.Г. Мещеряковым. И впереди ждали меня семь долгих лет – емких, значительных, весомых лет моей жизни, – говорю так из-за обилия выдвинутых научных задач и многих впечатлений от общения с большой высокоинтеллектуальной академической элитой Дубны.

С.Н. Вернов довольно часто навещал Дубну – по профессиональным вопросам и для отдыха. В поселке «Черная речка» дирекция ОИЯИ предоставила ему служебную квартиру на первом этаже коттеджа, телефона там не было, и я поддерживал с ним связь через соседей – рядом жила вдова с сыном первого директора филиала Ю.Н. Лобанова. Оставляю в стороне область научных интересов Сергея Николаевича в ОИЯИ и вспоминаю здесь лишь несколько бытовых эпизодов.

Как-то в начале лета 1976 г. в Дубне Сергей Николаевич заглянул ко мне в гости (моя квартира рядом с филиалом, на живописной зеленой Ленинградской улице, выходящей на Волгу); он бывал у меня и ранее, и, зная, что Сергей Николаевич бывает иногда не прочь выпить пива (по-видимому, это ему рекомендовали, так как он всегда был худым), я припасал к его приходу две бутылки, одну из них держал в холодильнике: смешивая пиво из двух бутылок, получали напиток с оптимальными вкусовыми качествами – и тут эксперимент!

В наследство от предыдущего директора филиала мне достался сложный коллектив его сотрудников. В том моем коллективе был один в особенности трудный сотрудник, он постоянно жаловался на меня в горком партии Дубны. Однажды, в декабре того же 1975 г., получаю я записку: «Анатолию Тимофеевичу от академика С.Н. Вернова. Анатолий Тимофеевич, если завтра, 11 декабря, договоритесь о приеме в горкоме, то заезжайте за мной. Я буду все время дома. 10.12.75». Видно, что и академикам иногда приходилось представлять перед очами партийных функционеров; и удивительно, что обычно начинали «разбираться с учеными» прямо с раннего утра – что, не было других, более важных дел? И что это был как раз тот случай, когда надо было наконец «разобраться с учеными» и с «жалобщиком»? С.Н. Вернова приглашали в горком, но Сергей Николаевич не отказался от визита (наверное, мог бы и не пойти), а захотел своим авторитетом защитить меня. В тот визит в горком Сергей Николаевич несколько удивил меня: нет, не стратегией – тут все ясно, – а тактикой своего поведения. Мы

довольно долго ожидали приема у первого секретаря горкома, и тогда Сергей Николаевич пояснил мне, можно сказать, как бы давал совет на будущее: совсем неплохо, что мы ждем – так будет лучше для исхода дела. Вот этого-то соображения, вероятно, психологического толка до конца я и не понял; но ему, Сергею Николаевичу, виднее, он старше, опытнее во взаимоотношениях с людьми вообще и с властями в частности. Очевидно, в силу моей наивности (и, как заметил, психологической неграмотности) урок этот я не только не понял, но, следовательно, и не усвоил, т. е. не смог применять на практике.

Потом, во время следующего моего вызова в горком, уже без Сергея Николаевича и уже не к первому секретарю, а к другому партийному начальнику (сколько их там было!), я был вынужден выслушивать выговор – мне ставили в вину «вообще неправильную кадровую политику во вверенном мне филиале»: я, директор, неправ, резюмировал «наставник», – «в истории партии был только один пример, когда среди многих неправых лишь один всегда был прав, – но то был Ленин!» В итоге все эти надуманные проблемы, при ощутимой и безоговорочной поддержке С.Н. Вернова разрешились благополучно: горком оставил меня в покое – не стали «укреплять руководство филиала» (в переводе с партийного языка – директора не стали снимать). Как положено, назревал выговор, но даже и его, к счастью, не объявили; а того сложного моего сотрудника, из-за которого, собственно, и загорелся весь этот сыр-бор, тот же горком «трудоустроил» в другое учреждение города.

Во второй половине августа 1979 г. в ОИЯИ в Дубне готовились отметить юбилей – 70-летие директора института, выдающегося ученого, крупнейшего математика, физика-теоретика, механика, академика Н.Н. Боголюбова. И в те дни, в приближении чествования директора ОИЯИ, С.Н. Вернов пригласил меня к себе домой, в коттедж на Черную речку – там мы сочиняли поздравительный адрес юбиляру. Сергей Николаевич говорил тогда, что ему хочется написать «нестандартное, оригинальное поздравление» (его слова), и по сему случаю мы добросовестно трудились. Потом Сергей Николаевич вместе со мной вручил Николаю Николаевичу в его кабинете в административном корпусе ОИЯИ то письменное послание; уверен, юбиляр остался им доволен.

С.Н. Вернов двояким образом использовал пребывание в Дубне: иногда совмещал занятия наукой с отдыхом, правда, этот отдых нельзя назвать активным, с какой-то достаточной физической нагрузкой, – то были или пешие прогулки (с научными беседами на ходу), или поездки к Московскому морю, на канал, на Ивановскую плотину. Но иногда Сергей Николаевич отдыхал более активно – любил поплавать в дубнинском городском бассейне «Архимед»; он был не бог весть каким умелым пловцом, и на дорожках бассейна я постоянно плыл рядом с ним.

Каков был характер у С.Н. Вернова? Видел его добрые, благостные поступки с умиротворенным, радостным настроением, видел его импульсивно-рассерженным, гневным. Вот несколько эпизодов для иллюстрации.

Он не считал для себя зазорным, а, наоборот, испытывал радость, когда удавалось решать положительно бытовые вопросы при получении жилплощади сотрудниками (и мне помогал), выделении садовых участков или оказывая какую-либо другую материальную помощь. По-моему, он всегда руководствовался сложившимся устойчивым своим мнением о ценности сотрудника для института и уже потом почти никогда мнения не менял. Этот, как мне кажется, некий консерватизм академиков (конечно, только в быту, а не в научных исследованиях, где они пионеры) – очень характерная их черта, впрочем, как и многих других людей, которые высоко ценят устойчивость ровных и спокойных жизненных ситуаций. Ко мне, по счастью, его отношение всегда было положительным (он и характеристики мои – для выезда за рубеж – подписывал, не читая, прямо на ходу, к примеру, при встрече на улице).

А вот прямо противоположный случай. Однажды наблюдал, как завершилась беседа С.Н. Вернова с одним из сотрудников института, химиком, о котором Сергей Николаевич был всегда невысокого мнения. Направлялся я на прием к Сергей Николаевичу и, подходя к его кабинету, увидел, как вдруг дверь в кабинет с шумом распахнулась и появился гневный директор – он вышвырнул портфель сотрудника в коридор, куда затем вытолкнул и самого визитера. При всей моей уверенности, что Сергей Николаевич быстро успокоится (так обычно и бывало), все же по совету секретаря свой визит я перенес.

Еще раз перечитал о С.Н. Вернове несколько мемуарных статей сотрудников НИИЯФ в сборниках нашего института – об успехах и достижениях Сергея Николаевича на научном поприще: в них даны детальные описания замечательных работ, выполненных им в области исследований космических лучей и околоземного космического пространства. Эти статьи выдержаны в сухом, строго научном стиле, как, собственно, и необходимо писать в такого рода публикациях (иногда даже с формулами и графиками). После этого мне захотелось сделать некое добавление к тем статьям – дать несколько живых картин к портрету ученого; надеюсь, – кое-что из задуманного здесь удалось приемлемо изложить.

В заключение отмечу еще только один знаменательный факт. По инициативе Д.В. Скобелыцина и С.Н. Вернова в 1948 г., к постановлению Правительства СССР о строительстве новых зданий МГУ на Ленинских горах и об оснащении факультетов и институтов новым оборудованием было выработано добавление о строительстве 20-го корпуса МГУ для размещения в нем лабораторий космических лучей (и 19-го корпуса для ускорителей). Дмитрий Владимирович и Сергей Николаевич добились выполнения этого до-

полнительного постановления правительства. И тут вспомнились мои же слова о С.Н. Вернове, его школе, о 20-м корпусе из второй моей книги воспоминаний: «Известно высказывание некоторых знаменитых русских писателей – “Все мы вышли из гоголевской «Шинели»”, и, перефразируя эти слова, можно сказать, что все мы физики-космики, птенцы гнезда Вернова, вышли из достославной, родной лаборатории космических лучей – из 20-го корпуса МГУ».

2. Ученые Англии об академике С.Н. Вернове: его и их работы в космических лучах и в космофизике (по встречам и беседам с учеными английских университетов и институтов и по их письмам)

Выдающиеся научные исследования в области космических лучей и физики космоса академика, профессора Московского университета Сергея Николаевича Вернова известны ученым многих стран. И из международного сообщества физиков автор выбрал известных ученых знакомой ему Англии: кратко остановившись на основных их научных достижениях в области космических лучей и физики космоса, привел высказывания о С.Н. Вернове его коллег (по их письмам и личным встречам с ними автора) из ряда университетов и научно-исследовательских институтов Лондона, Лидса, Дарема и Манчестера: нобелевского лауреата П. Блэкетта, профессоров Дж. Вилсона, Г. Эллиота, Дж. Джелли, нобелевского лауреата С. Пауэрла, сэра Б. Ловелла, доктора Х. Аллана, профессоров А. Ватсона, сэра А. Вулфендейла и Дж. Прескотта.

А в преддверии 100-летия со дня рождения Сергея Николаевича Вернова и приуроченного к этому изданию настоящего сборника состоялся активный обмен письмами с учеными Лондонского университета (четыре письма из Англии и три письма из Москвы – с мая по сентябрь 2009 года). Точнее говоря, с упомянутыми выше учеными из Imperial College of Science and Technology of London University Харолдом Алланом (Dr. H.R. Allan)² и Гарри Эллиотом (Prof. H. Elliot).

Д-р Х. Аллан и проф. Г. Эллиот – сотрудники одного из известнейших научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений Англии, Имперского колледжа науки и техники Лондонского университета.

² Х. Аллан – выпускник Кембриджского университета. Во время Второй мировой войны, будучи в составе английских вооруженных сил в системе ПВО страны, участвовал в защите промышленных объектов и городов Англии от налетов немецкой авиации с применением новшества английской науки и техники – радиолокационных станций. Х. Аллан – известный английский ученый, специалист в области исследования радиоизлучения космических лучей сверхвысоких энергий, занимал должность Senior Lecturer в Имперском колледже Лондонского университета.

Общеизвестны заметная и важная роль этого научного института и учебного центра, его достижения в науке, его престиж в Англии и в мире. Поэтому здесь будет достаточно упомянуть в виде исторической справки лишь один момент в становлении этого знаменитого колледжа Лондонского университета: «Во времена долгого правления королевы Виктории (1837–1901) произошло много новшеств в Лондонском университете... Импириал-Колледж науки и технологии и многие другие школы и колледжи стали частью федерации университета»³.

Эти коллеги из Лондонского университета, Х. Аллан и Г. Эллиот (много лет их связывают крепкие дружеские отношения), знакомы автору по совместным работам в области изучения космических лучей: в лабораториях в Имперском колледже в Лондоне и на физическом факультете университета в Лидсе, включая участие в экспериментах на полевой станции Лидского университета. Они в своих письмах в 2009 году предложили мне как бывшему их коллеге написать эту статью, включив в нее несколько вспомнившихся им эпизодов о Вернове из их писем, разумеется, с соответствующими ссылками. Но по их же словам (в тех письмах) на отдельную статью фактологического текстового материала, который мог бы составить самостоятельную публикацию, у них явно недостаточно. При этом они апеллировали к моим воспоминаниям о личных знакомствах английских ученых с С.Н. Верновым, в основном речь идет о тех, кого и я знал когда-то во время стажировки в университетах Англии. И в проблеме с иллюстрациями к этой статье они надеялись на мой довольно богатый фотоархив.

В письме в августе 2009 года Х. Аллан писал:

Certainly, make use of any parts of my letter you consider appropriate. I am sure you can also use any parts of the letter Harry Elliot. I am sure you will make a good job – an article about Prof. S. Vernov for the centenary volume.

С этим же письмом Х. Аллан прислал мне профессиональный широкоформатный снимок участников IX Международной конференции по космическим лучам, проходившей в Лондоне в 1965 году. Председателем организационного комитета конференции был Head of the Physics Department of the Imperial College of London University, лауреат Нобелевской премии профессор П. Блэккетт (Prof. P.M.S. Blackett, о нем ниже), и «It was Elliot who organized the London Conference» (from Allan's letter).

И Х. Аллан продолжает в том же письме:

I should add that I'm not present in the photograph: I was too busy in the Imperial College building, preparing the lecture theatre for the next session. I suspect you had similar experiences in Moscow.

³ Ревью образования, 1957. Январь–февраль.

На полевой станции Haverah Park Университета Лидса, в Северном Йоркшире близ г. Харрогит, на базе установки для изучения широких атмосферных ливней (ШАЛ) космических лучей Х. Аллан руководил экспериментами по исследованию радиоизлучения от частиц сверхвысоких энергий, образующих ШАЛ; в состав его группы входили научные и технические сотрудники Лондонского, Лидского и Московского университетов. Эти эксперименты явились естественным продолжением тех работ, что ранее были начаты в Московском и Харьковском университетах под руководством С.Н. Вернова и Г.Б. Христиансена. Результаты этих экспериментов в Haverah Park были изложены Алланом (в соавторстве) в серии статей в различных изданиях (включая сообщения в престижном английском журнале «Nature»), и в итоге – в его солидной монографии, которая вошла в сборник «Progress in Elementary Particle and Cosmic Ray Physics»⁴. В этом обзоре отмечалось, в частности, что профессор Дж. Прескотт (J.R. Prescott, Canada, Australia) принимал участие в обсуждении результатов экспериментов Аллана по исследованию радиоизлучения ШАЛ. В заключение обзора Х. Аллан выражает благодарность автору за участие в экспериментах и полезные обсуждения; Dr. A. Abrosimov (MSU) был соавтором Аллана в ряде его статей по указанной теме, включая публикацию в «Nature» с положительной рецензией в научной рубрике газеты «The Times».

В письме автору в мае 2009 г. из своего родного Элтема (Eltham, Woolwich, borough, London) Х. Аллан вспоминает о своем первом посещении НИИЯФ МГУ.

Сразу же после приезда Аллана в Москву С.Н. Вернов пригласил его в свой кабинет для беседы о намечавшихся совместных работах по исследованию радиоизлучения космических лучей. На этот внеочередной «семинар» были приглашены ведущие сотрудники из отделов института и из ФИАН, занятые в экспериментах по этой теме: «Prof. Vernov welcomed us in his large office with a large number of Russian researchers». В числе присутствовавших на этом собеседовании был видный теоретик из ФИАН Г. Аскарьян – впоследствии он дал объяснение механизму образования радиоизлучения частицами сверхвысоких энергий космических лучей при их прохождении через атмосферу Земли. Аллан отмечает как полезность дискуссий на том семинаре, актуальность советов и рекомендаций Вернова, так и общую благоприятную атмосферу собеседования. В том же письме он пишет:

He [С.Н. Вернов] was a most friendly effective chairman, and the meeting give us the introductions we needed to develop collaboration with the people directly involved: in particular Prof. Khristiansen, whom I came to admire very much.

⁴ Amsterdam. 1971. V. 10 // Ed. by prof. J.G. Wilson and S.A. Wouthuysen.

Х. Аллан во время той своей первой деловой поездки в НИИЯФ МГУ (он и потом бывал в Москве, выступал на семинаре в НИИЯФ), ознакомился с экспериментальными работами по исследованию радиоизлучения, развитыми С.Н. Верновым и Г.Б. Христиансенем на базе установки ШАЛ в 20-м корпусе МГУ. Аллан понял и оценил всю важность и перспективность этого аспекта исследований в космических лучах и стал активно продолжать аналогичные эксперименты в Англии.

В Англии же, но не в системе университетов, а другом научном учреждении – крупном Центре научно-исследовательских работ в области физики атомного ядра и атомной энергии в Харуэлле, оценил, конечно, перспективность этого направления исследований сотрудник Центра профессор Дж. Джелли (J.V. Jelly): ведь именно он открыл радиоизлучение в декаметровом диапазоне волн (и черенковское излучение – вместе с У. Галбрайтом) частиц сверхвысоких энергий при их прохождении через атмосферу Земли. Сама возможность появления вспышек в радио- (и световом) диапазонах при прохождении ультрарелятивистских частиц через атмосферу прямо следует из теории излучения Вавилова–Черенкова.

В лаборатории в Харуэлле (во время моего пребывания at Atomic Energy Research Establishment, Harwell, County Berkshire) профессор Дж. Джелли говорил, что хорошо осведомлен об экспериментах, проводимых в НИИЯФ МГУ С.Н. Верновым с сотрудниками по изучению широких атмосферных ливней, и в частности по исследованию радиоизлучения ШАЛ, а также по определению энергетического спектра первичных космических лучей сверхвысоких энергий. Джелли подчеркивал актуальность экспериментов по исследованию космических лучей сверхвысокой энергии радиометодом в Харьковском ГУ (ХГУ), МГУ и в Университете Лидса.

(Именно Московский университет тогда я представлял в Англии по линии соглашения с правительственной организацией British Council. Остановливался в гостинице в соседнем маленьком городке Abingdon (Berkshire, four miles N. of Harwell; Harwell – ten miles S. of Oxford).

В конце 1950-х годов профессор Дж. Джелли выпустил монографию «Черенковское излучение и его применения», в которую он включил и некоторые результаты его исследований радиоизлучения космических лучей. Эта его книга была переведена на русский язык и издана в 1960 году⁵.

⁵ Как историческую справку надо отметить, что вслед за открытием радиоизлучения частиц сверхвысоких энергий космических лучей, которое сделал в Англии Дж. Джелли, эти исследования были продолжены в серии экспериментов на физическом факультете Харьковского университета группой в составе: В.Д. Воловик, И.И. Залюбовский, Е.С. Шматко и др. Научный руководитель группы Воловик выступал на семинаре в ФИАНе с докладом о результатах первых экспериментов в Харькове. Конструктивная и, в общем, благожелательная критика этого доклада академиком А.Е. Чудаковым способствовала интересу к проблеме и дальнейшему успешному развитию этих исследований в ХГУ и МГУ.

Аллан как специалист в исследовании радиоизлучения частиц широких атмосферных ливней, конечно, был хорошо знаком и с результатами экспериментальных работ С.Н. Вернова по всем аспектам изучения ШАЛ космических лучей. В своем письме в НИИЯФ он отмечал, что научная деятельность выдающегося ученого С.Н. Вернова, его крупные научные успехи (Н. Allan: «I have read and admired the accounts of his work in Russian Space Programme») в изучении космических лучей, включая два открытия, сочетались у него с активной продуктивной деятельностью по организации науки. Далее Аллан пишет, что С.Н. Вернов инициировал и успешно реализовал соглашение об обмене учеными между НИИЯФ МГУ и Имперским колледжем Лондонского университета, физическим факультетом Лидского университета и Университетом Дарема (здесь надо заметить, что если известны такие престижные университеты Англии, как Кембридж и Оксфорд, то физики отмечают: Дарем – это третий высокочисленный университет и научный центр Англии).

Произошел обмен специалистами: К. Нит из Лондонского университета прибыл на годичную стажировку в НИИЯФ МГУ. Х. Аллан пишет:

And it was with Professor Vernov's support that my English research student Ken Neat was able to spent a year as a British Council student at Moscow State University.

Из НИИЯФ МГУ на научную работу в Дарем выезжал Б.А. Хренов, а в Лондон и Лидс – автор этой статьи. С.Н. Вернов уделял должное внимание тому, что считал важным, – чтобы сотрудничество с английскими университетами было плодотворным и расширялось.

В заключение своих заметок о встречах с С.Н. Верновым Х. Аллан писал о его высоких моральных качествах, отмечал «prof. Vernov's human qualities and his power of leadership». Аллан говорил мне о привлекательности открытого характера Вернова, о его доброжелательности; во втором июньском письме 2009 г. он писал: «My memories of him are of a kindly and helpful man», выражал уверенность: «I trust that the people who knew him well reached a similar conclusion», говорил о Вернове: «I imagine he would have been an inspiring leader».

Когда физики из НИИЯФ МГУ прибывали на стажировку (по линии соглашений с British Council), на работу или конференцию в Англию, то в стране пребывания им оказывали всемерную поддержку ученые английских университетов. В Лондонском университете это были: Head of the Physics Department of the Imperial College of Science and Technology профессор П. Блэккет (лауреат Нобелевской премии в области физики в 1948 г.)⁶ и

⁶ «Blackett, Patrick Maynard Stuarts, Baron (1897–1974). English physicist. During the Second World War he was involved in operational research in the U-boat war and was a member of the

Head of the Cosmic Ray and Space Physics Group at the Imperial College профессор Г. Эллиот.

Professor Blackett came to Imperial College in 1953 as Head of Physics, from Manchester. He began his physics studies under Rutherford in the 1920 – changing from nuclear physics to cosmic rays in the 1930's. (From the letter of Dr. H. Allan, Eltham, 24th August 2009).

В письме от 3 сентября 2009 г. Х. Аллан добавил:

P.M.S. Blackett elected President of the Royal Society in 1965.

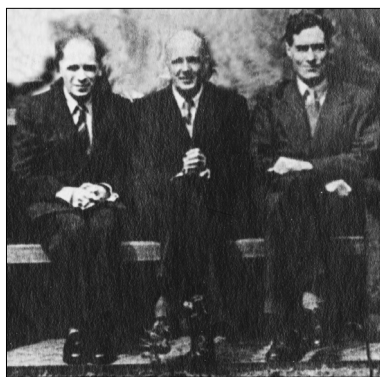
Со своей стороны могу добавить (из биографии Блэккетта):

He took part, during the First World War, in the battles of Falkland Islands and Jutland.... In 1937 he succeeded Sir Lawrence Bragg (the 1915 Nobel Prize) at Manchester University, Bragg himself having succeeded Rutherford there.

И тогда можно говорить о такой английской школе физиков, в которую входят Э. Резерфорд, Л. Брэгг, П. Блэккетт, Г. Эллиот.

В конце ноября 1968 года проф. П. Блэккетт и проф. Г. Эллиот поздравили С.Н. Вернова с избранием его в действительные члены Академии наук (избран 26 ноября 1968 г.) – послали ему из Лондона в Москву телеграмму. Под этой телеграммой, приехав на очередной семинар из Лидса в Лондон (во время моей двухсеместровой работы в английских университетах), я отважился поставить и третью, свою, подпись.

Так же как и Блэккетт в Лондоне, доброжелательно принимал «oversea visitors» в Лидсе декан физического факультета университета профессор Дж. Вилсон. Профессор Вилсон – признанный авторитетный специалист в области изучения космических лучей, ученый с мировым именем⁷.



С.Н. Вернов, Е. Бретчер, П. Блэккетт
(Лондон, 1965)

Maud Committee which dealt with the development of the atom bomb. He modified the cloud chamber for the study of cosmic rays, being awarded the Nobel Prize in 1948» (Oxford English Reference Dictionary. 6d ed. 1996).

⁷ На физическом факультете Лидского университета была превосходно проведена серия исследований по широким атмосферным ливням (ШАЛ) космических лучей – эксперименты проводились коллаборацией университетов Лондона, Лидса, Ноттингема и Дарема на установке ШАЛ полевой станции Лидского университета в Haverah Park (14 миль к северу от Лидса) близ г. Харрогит, и немалая роль в организации этих исследований, равно как и в

В 1976 году профессор Вилсон весьма благожелательно и заботливо принимал в Лидсе участников Международного симпозиума по космическим лучам, которых делегировал, как директор НИИЯФ, С.Н. Вернов – в составе делегатов были Г.Б. Христиансен, Н.Л. Григоров и Б.А. Хренов, А.Т. Абрахимов (НИИЯФ МГУ); из Якутска на симпозиуме были сотрудники Института космофизических исследований и астрономии Д.Д. Красильников, Н.Н. Ефимов и А.И. Кузьмин. (Экспериментальные работы по исследованию ШАЛ космических лучей в Сибири были развернуты по инициативе С.Н. Вернова при активном участии директора Якутского института профессора Ю.Г. Шафера и названных выше сотрудников этого института).

Профессор Дж. Вилсон в течение многих лет был бессменным издателем известной многотомной серии книг с общим названием «Успехи в физике элементарных частиц и космических лучей» («Progress in Elementary Particles and Cosmic Ray Physics»). В девятый том этого сборника Вилсон включил большую обстоятельную монографию ученика С.Н. Вернова, моего друга, профессора МГУ Владимира Сергеевича Мурзина об изобретенном им (в соавторстве с Н.Л. Григоровым и И.Д. Рапопортом) методе и приборе «ионизационный калориметр»⁸. Этот прибор стал широко применяться и в исследованиях в физике космических лучей, и в экспериментах в физике высоких энергий – на ускорителях.

В упомянутом Университете в Лидсе – на физическом факультете и в эксперименте на установке ШАЛ в Haverah Park в названной коллаборации четырех английских университетов – активным научным сотрудником был Алан Ватсон (Alan A. Watson). И конечно, поэтому он был хорошо знаком с работами С.Н. Вернова с сотрудниками по исследованию ШАЛ космических лучей. А. Ватсон неоднократно приезжал в НИИЯФ МГУ, где выступал на семинарах; он высоко оценивал экспериментальные данные, полученные на уникальной установке ШАЛ в 20-м корпусе МГУ.

В развитие своих работ по исследованию космических лучей А. Ватсон провел серию экспериментов в Антарктиде (откуда получал от него письма). Затем он стал научным руководителем «Проекта Оже» – исследование космических лучей сверхвысоких энергий – на грандиозной установке ШАЛ в Аргентине, вслед за Дж.У. Крониным (J.W. Cronin, лауреат Нобелевской премии 1980 года; в 2006 году Дж. Кронин приезжал в Москву на 60-летний юбилей НИИЯФ МГУ, выступал и на физическом факультете университета).

В своей статье в журнале «*CERN Courier*» (July/August 2006) «The future's bright for the Pierre Auger Observatory» А. Ватсон пишет:

участии в экспериментах, несомненно, принадлежит профессору Вилсону; и именно он был основателем упомянутой установки.

⁸ Murzin V.S. Principles and Application of the Ionization Calorimeter // N.-H. Publ. Amsterdam, 1967.

The strategy behind the design of the Pierre Auger Observatory is to study showers through detecting not only the particles, with an array of 1600 water Cherenkov detectors, but also the fluorescence light, using four stations, each with six telescopes overlooking the particle detectors.

Одна из задач, которые могут быть решены в экспериментах на установке «Проекта Оже», – это регистрация в первичных космических лучах частиц предельно высоких энергий и вслед за этим решение проблемы с объяснением происхождения этих частиц (проблема реликтового обрезания энергетического спектра первичных космических лучей).

Возвращаясь к установке Лидского университета, которая, как и установка ШАЛ в МГУ, явилась предтечей «Проекта Оже», надо отметить, что в экспериментах по ШАЛ космических лучей участвовали сотрудники университета: профессор Хиллас (A.M. Hillas), теоретик, встречался с ним и в последующих своих приездах в Лидский университет; профессор Марсен (P.L. Marsden), помню его на моем выступлении на семинаре; д-р Джонс (Keith Jones), ближайший мой коллега в экспериментах по исследованию радиоизлучения, который вместе с Х. Аланом приезжал в НИИЯФ МГУ: H. Allan, from his letter of 13 May 2009:

I remember well the occasion when Keith Jones and I came to Moscow hoping to discuss radio emission, and Prof. Vernov welcomed us...



С.Н. Вернов, лауреат Нобелевской премии С.Ф. Пауэлл
и профессор Н.А. Добротин, ФИАН
(Москва, 1955)

В 1955 году в Москве С.Н. Вернов встречался (и фотографировался) с известным английским ученым Пауэллом (C.F. Powell), и разумеется, им было о чем поговорить... В 1949 году С.Н. Вернов и Б. Росси на основании анализа космических экспериментов предсказали существование нейтрального π -мезона. (Прямое доказательство существования π^0 -мезонов было получено годом позже, в 1950 г.: экспериментально они были обнаружены по

гамма-квантам от их распада, π^0 -мезоны рождались в столкновениях фотонов и протонов высокой энергии – ~ 300 МэВ – с ядрами.)

А двумя годами ранее, в 1947 году, группа Пауэрлла, Оккеалини и др. открыла заряженные π -мезоны – они были найдены при помощи усовершенствованного ими метода ядерных фотоимпульсов, облученных космическими лучами на большой высоте над поверхностью Земли. И вскоре, в 1950 году, за это открытие Пауэрллу была присуждена Нобелевская премия. (В лабораторных условиях заряженные пионы, играющие важную роль во взаимодействиях протонов и нейтронов, были впервые получены в 1948 году на ускорителе в Беркли; наиболее специфичным для π -мезонов является «сильное взаимодействие».)

Во время пребывания в Джодрелл-Бэнкской радиоастрономической обсерватории Манчестерского университета, в местечке Джодрелл-Бэнк (20 miles S. of Manchester) в графстве Чешир (University of Manchester, Nuffield Radio Astronomy Laboratories, Jodrell Bank, County Cheshire), встречался и беседовал с научным руководителем обсерватории – профессором Университета Манчестера сэром Бернардом Ловеллом⁹.

Б. Ловелл говорил, что знаком с научной деятельностью С.Н. Вернова по исследованиям в физике космоса с использованием искусственных спутников: с исследованиями радиационных поясов Земли; с открытием Верновым с сотрудниками (по данным с третьего советского спутника) второго радиационного пояса. Предположение, что этот пояс существует, сделал А.Е. Чудаков, теоретическое объяснение существования этого пояса было опубликовано С.Н. Верновым и А.И. Лебединским.

Во время беседы с Ловеллом в его лаборатории в обсерватории Джодрелл-Бэнк автоматическая регистрирующая аппаратура вела запись сигналов с одного из радиотелескопов. И было знаменательное совпадение: говорили о российских искусственных спутниках, и запись шла тоже с одного из наших ИСЗ – Ловелл с удовольствием дал мне прослушать некий текст на русском языке с того спутника.

В то же время, одновременно со мной, радиоастрономическую лабораторию в Джодрелл-Бэнк посетил профессор Дж. Прескотт¹⁰, который тоже был хорошо знаком с работами С.Н. Вернова с сотрудниками по космическим

⁹ «Lovell, Sir (Alfred Charles) Bernard, English astronomer and physicist, and pioneer of radio astronomy. He became professor of radio astronomy at Manchester University in 1951, and founded the university's radio observatory at Jodrell Bank. He directed the construction of the large radio telescope there (one of the world's largest radio telescopes, with a fully steerable dish 76 m in diameter), now named after him» (Oxford Reference Dictionary, 1996).

¹⁰ Профессор Прескотт (John R. Prescott) – известный ученый в области исследований в космических лучах, питомец Оксфордского университета; работал в университете в Калгари (Канада), потом – университете Аделаиды (Австралия); в Англии он был во время своего sabbatical year. (Он мой старый знакомый: по его приездам в Москву – в НИИЯФ МГУ, по Лондону и как участник международных конференций по космическим лучам).

лучам, в том числе и с экспериментами по исследованию широких атмосферных линий космических лучей. Чтобы читать эти статьи в подлиннике, он выучил русский язык.

В Лондонском университете Дж. Прескотт выступал с докладом – обзором исследований первичного спектра космических лучей, в котором он особо подчеркнул успехи С.Н. Вернова с сотрудниками в этом направлении: открытие ими резкого изменения – «излома» в первичном спектре (the «knee» at 10^{15} – 10^{16} eV). Прескотт активно участвовал в организации и проведении международных конференций по космическим лучам: в Москве в 1986 г. и в Аделаиде в 1990 г. Переехав в Австралию, Прескотт продолжил свои эксперименты по исследованию радиоизлучения космических лучей, начатые в Канаде, но, в отличие от прежних работ, уже в другом диапазоне – на сверхнизких частотах. (Вместе с Дж. Прескоттом на работу в Университет Аделаиды перешел и наш «старый» коллега по исследованиям радиоизлучения ШАЛ на установке Haverah Park (Leeds) Р. Клей (Roger Clay). Препринты своих статей по радиоизлучению ШАЛ космических лучей на этих новых частотах Джон Прескотт присылал мне из Аделаиды в Москву, в НИИЯФ. Вот, к примеру, репринт одной из его последних статей: The University of Adelaide, Department of Physics. To Anatoly. With the author's compliments; «Low Frequency Radio Signals from Extensive Air Showers» by R.W. Clay, P.C. Crouch, A.G. Gregory and J.R. Prescott.

И теперь еще о сообщениях от другого респондента в переписке Москва (НИИЯФ) – London (Imperial College), 2009 г. – от Г. Эллиота по его письмам из Tunbridge Wells (County Kent, May 2009), пересланным Х. Алланом автору в Москву.

Профессор Г. Эллиот¹¹ – автор нескольких крупных печатных работ по космическим лучам, известны его публикации: солидная монография «Временные вариации интенсивности космического излучения» в книге «Физика

¹¹ Г. Эллиот (Harry Elliot), FRS (академик), CBE – известный космофизик; занимал должности: Head of the Imperial College Cosmic Ray and Space Physics Group (London University), Research Officer of «The Blackett Laboratory» at Imperial College of Science and Technology. «Elliot was a leading expert on the geophysical and astronomical aspect of cosmic rays; he was of the generation which came from the field of cosmic ray physics as did James Van Allen, Scott Forbush and Sidney Chapman» (Imperial College – Centenary website; blog spot).

Эллиот активно участвовал в становлении в 1964 году Европейской организации по исследованию космического пространства – ESRO (European Space Research Organization). Его группа в Имперском колледже Лондонского университета создала детектор космических лучей «for the first British scientific satellite Ariel-1», установила три прибора на спутнике ESRO-II, запущенном в 1967 г., а также внесла существенный вклад в создание еще 23 приборов для HEOS-1, запущенного в декабре 1968 года. (Как раз в декабре того 1968 года, в Лондоне, в группе Г. Эллиота, я осваивал транзисторы – тогда новые элементы электроники.) And after that – I've got a letter from London with a Island's joke: The initials HEOS for the ESRO spacecraft launched in 1972 stood for «Harry Elliot's Own Satellite». Эллиот принимал участие и в запуске американских ИСЗ.

космических лучей» под редакцией того же Дж. Вилсона, том первый (в русском переводе – М.: ИЛ, 1954); публикация «Early History of Cosmic Ray Studies» в соавторстве с Y. Sekido (Dordrecht, Holland, 1985).

Из письма Х. Алана (август 2009 г.):

«H. Elliot was a student in Manchester under Blackett, and accompanied him to Imperial College as a newly-appointed lecturer in 1953, becoming Senior Lecturer in 1956, he was made Professor of Physics in 1960. It was Elliot who organized the London Conference, Blackett “looking in” when he had time – he was busy reorganizing the whole of the physics department!»

С.Н. Вернов встречался с Г. Эллиотом во время своего пребывания в Лондоне на Международной конференции по космическим лучам в 1965 году. Как космофизика, Эллиота прежде всего интересовали исследования Вернова и его сотрудников, проводимые за пределами атмосферы Земли при помощи аппаратуры, размещенной на искусственных спутниках, с целью изучения космических лучей – их энергетического спектра и состава.

А несколько лет тому назад – от лондонской встречи Вернова и Эллиота – уже на первых спутниках, в 1957–1958 гг., было открыто новое природное явление – захват и ускорение частиц в магнитном поле Земли, т. е. обнаружено то, что впоследствии стали называть радиационным поясом Земли.

Не пересказывая в деталях всю историю указанного открытия, отметим, что у истоков всей космической физики были двое ученых – С.Н. Вернов и Дж. Ван Аллен (James A. Van Allen, USA). Первые искусственные спутники почти одновременно дали такую информацию: в начале ноября 1957 года на втором ИСЗ в Советском Союзе было получено указание на существование в околоземном космическом пространстве области очень высокой скорости сета детекторов, и в январе–феврале 1958 года в США на спутниках «Альфа» и «Гамма» была получена информация, приведшая к открытию радиационного пояса Земли; результаты первых советских и американских экспериментов с использованием ИСЗ дополняли друг друга. Вскоре после данных этих экспериментов последовала и физическая интерпретация обнаруженного явления. Но существенная роль в выяснении природы открытого радиационного пояса Земли выпала эксперименту, проводимому при помощи третьего советского спутника (май 1958 года); на нем были дополнительно установлены новые (по сравнению со счетчиками Гейгера–Мюллера на прежних спутниках) различные типы детекторов частиц, включая сцинтилляционный счетчик.

Научным руководителем этого эксперимента, как и большинства других проведенных в НИИЯФ по изучению космической радиации, был Сергей Николаевич Вернов. Модель механизма образования частиц во внутреннем радиационном поясе (протонов при распаде нейтронов альбеда, возникающих при взаимодействии первичных космических лучей с атомами верхней

атмосферы Земли) была выдвинута в том же 1958 году, С.Н. Верновым, А.И. Лебединским и Ф. Зингером (S.F. Singer, который ввел в космофизику термин «радиационный пояс Земли»).

Теперь термин «внутренний радиационный пояс Земли» окончательно установился как название зоны, где концентрируются частицы (протоны), захваченные магнитным полем Земли, но официально признается, что открытие этого пояса было сделано американскими физиками в 1958 году – группой Ван Аллена (сообщение об открытом им явлении Ван Аллен сделал в Академии наук США 1 мая 1958 года). Хотя несомненен существенный принципиальный вклад в это открытие группы советских ученых во главе с С.Н. Верновым – эксперименты на втором и в особенности на 3-м советском ИСЗ, запущенном 15 мая 1958 года. И именем Ван Аллена назван этот внутренний протонный радиационный пояс:

Van Allen belt (also Van Allen layer) either of two [подчеркнуто мной, о внешнем поясе ниже – *A.A.*] regions of intense radiation partly surrounding the earth at heights of several thousand kilometers¹².

В своем письме Эллиот, имея в виду внутренний радиационный пояс, «either of two», по этому поводу писал, что в эксперименте на первых советских спутниках у Вернова были проблемы с передачей импульсов от счетчиков частиц за весь полный оборот спутника вокруг Земли – их записью и хранению для последующей передачи (по запросу) с бортовой системы передачи информации.

Информация с нашего второго спутника была доступна только тогда, когда он пролетал над территорией СССР, т. е. в области перигея на высотах 250–700 км, что не позволило «зацепить» захваченную радиацию, существующую здесь на больших высотах. Также надо отметить, что не была получена информация с той части орбиты второго спутника, когда он находился на высотах вблизи апогея (1670 км): эллиптическая орбита спутника значительно проникала в пояс лишь в Южном полушарии, при этом по понятным причинам – из-за атмосферных условий радиосвязи – наши приемные пункты не могли функционировать, а информация с других (зарубежных) пунктов была недоступна.

Очевидно, Эллиот подчеркивал именно отсутствие магнитофона («tape-recorder» на борту наших «the early Sputniks»), который смог бы записывать и сохранять данные – до «сброса» информации. По словам Элиота,

Vernov was unfortunate not to discover the radiation belts with the early Sputniks. Unlike the Americans they did not have a tape-recorder on board that made all the difference. Sorry to say this especially to Dr. Abrosimov (Letter of 30 May 2009).

¹² Oxford English Reference Dictionary. 6d ed. 1996.

Подробно об этом можно прочитать в статье Ю.И. Логачева в сборнике, изданном к 250-летию МГУ¹³, в которой убедительно показано, что «открытие радиационных поясов было бы справедливо считать коллективным открытием, а не приписывать эту честь только Дж. Ван Аллену», и где также подчеркнуто, что ныне общепринятую «теорию радиационных поясов создал один из учеников С.Н. Вернова – его коллега Б.А. Тверской». Результаты работ Б.А. Тверского по теории радиационных поясов были им обобщены в монографии «Динамика радиационных поясов Земли» (1968), «ставшей классическим настольным пособием во всех научных центрах, занимающихся данной проблемой». К этому вопросу можно было бы обратиться еще раз, если взять исчерпывающие сведения из обстоятельного сборника статей «Первая космическая... 50 лет космической эры», изданного в 2007 г. Институтом космических исследований РАН, и книги Ю.И. Логачева «Исследования космоса в НИИЯФ МГУ. Первые 50 лет космической эры». (М.: Изд. Моск. ун-та, 2007). Продолжая тему изучения радиационных поясов, в шестой главе своей книги Ю.И. Логачев отмечает, что в 1964 году С.Н. Вернов провел особенно удачные широкие исследования радиационных поясов Земли при полетах серии спутников «Электрон». «Электрон-1» и «Электрон-3» имели высоту в апогее около 7 тыс. км и исследовали в основном внутренний пояс, спутники «Электрон-2» и «Электрон-4» с более вытянутой орбитой (более десяти радиусов Земли) исследовали внешний пояс и радиацию за поясами.

Ясно, что в данном случае речь идет о приоритете в установлении открытия протонного радиационного пояса. Вряд ли Эллиоту были известны слова академика В.Л. Гинзбурга о приоритете вообще. «Приоритеты – дело недостойное», – говорил он на своей лекции в Кембридже в 1960 году. В публикации в журнале «*Annual Review of Astronomy and Astrophysics*» (1990, № 28) по этому же поводу В.Л. Гинзбург писал: «Priority questions are a dirty business. Priority mania of super sensitivity is a disease». (Эти слова взяты из зарубежного журнала и приведены здесь, как в оригинале, без перевода.) Поэтому-то Эллиот в своем письме, подчеркивая отличие в аппаратуре на советских и американских спутниках и заключая, «that made all the difference», тем самым закреплял приоритет в открытии этого радиационного пояса за американцами (и мне высказывал свое «sorry»).

Так или иначе, но теперь, по-видимому, уже ничего не поделаешь с тем, что только имя Ван Аллена как автора обсуждаемого открытия вошло, к примеру, в упомянутое выше солидное издание «Оксфордской энциклопедии» (1996) и что об этом же можно прочитать и в других западных энциклопедических изданиях, например в «Larousse» (en 1889 sous la direction de Claude Auge): «Van Allen (James Alfred), physician American. Il a decouvert les ceintures de radiation de la haute atmosphere» (1987).

¹³ Академик С.Н. Вернов – ученый Московского университета. М.: УНЦ ДО, 2004.

Наряду с исследованиями внутреннего протонного радиационного пояса Земли, продолжая эксперименты в околоземном космическом пространстве, Вернов с сотрудниками открыли внешний электронный радиационный пояс. По экспериментам на третьем советском спутнике (1958) предположение о существовании этого пояса было сделано А.Е. Чудаковым. Теоретическое обоснование этого явления было дано С.Н. Верновым, А.И. Лебединским и др. (в публикации 1958 г.) и Кристофилосом и Ван Алленом с сотрудниками (в публикации 1962 г. – Ван Аллен «Радиационные пояса Земли»).

Повторяю, что важным результатом экспериментов на упомянутом выше третьем советском ИСЗ явилось открытие внешнего радиационного пояса Земли и подтверждение существования внутреннего пояса. С удовлетворением добавлю, что за эти работы С.Н. Вернов и А.Е. Чудаков в 1960 году были удостоены Ленинской премии.

Открытие внешнего радиационного пояса Земли было зарегистрировано Комитетом по делам изобретений и открытий при СМ СССР: внесено в Государственный реестр СССР под названием «Внешний радиационный пояс» 27 марта 1965 года, диплом № 23, с приоритетом – июль 1958 года (по дате доклада на 5-й Ассамблее Международного геофизического года в Москве); авторы открытия – С.Н. Вернов, А.Е. Чудаков, Ю.И. Логачев, Е.В. Горчаков и П.В. Вакулов. Формула этого открытия такова: «Установлено, что в области пространства, где расположены силовые линии магнитного поля, пересекающие поверхность Земли между 50 и 65 градусами геомагнитной широты, находится радиационная зона (названная впоследствии внешним радиационным поясом), состоящая из захваченных магнитным полем интенсивных потоков электронов с энергией от сотен до тысяч килоэлектронвольт». Когда-то авторитет Комитета по делам изобретений и открытий поддерживали члены Академии наук СССР, но тем не менее международного статуса он не имел – это было внутригосударственное учреждение; и в западных энциклопедиях я не нашел упоминания об этом открытии, в отличие от статей об открытии внутреннего радиационного пояса, о чем было написано выше. В настоящее время открытия у нас не регистрируются.

По нескольким встречам С.Н. Вернова с А. Вулфендейлом¹⁴ (в Лондоне и Ленинграде), его коллегой из Даремского университета, а также из моих бесед с Вулфендейлом (в Дареме и Москве) трудно составить отчетливое впе-

¹⁴ Профессор А. Вулфендейл (Wolfendale, Sir (Wittacker) Arnold) – в разные периоды своей научной, педагогической и административной карьеры занимал важные посты: Head of the Physics Department of University of Durham (immediately behind prof. G.D. Rochester); 14th astronomer Royal, UK; President of the Institute of Physics, UK; President of the European Physical Society; President of the Royal Astronomical Society, UK. В настоящее время А. Вулфендейл Fellow of the Royal Society; Knight, Sir; Emeritus Professor of the Physics Department of the University of Durham; Doctor Honoris Causa многих университетов и академий.

чатление о том, насколько близко они были знакомы, какова основательность и глубина их отношений. Но можно определенно отметить, что у них обоих, конечно, было взаимное понимание важности их исследований в космических лучах. Их связывал, например, взаимный интерес к исследованию энергетического спектра первичных космических лучей, которые экспериментально проводил Вернов с сотрудниками на установке широких атмосферных ливней в Московском университете, и к тому же исследованию, которое теоретически проводил Вулфендейл в Университете Дарема.

Профессор А. Вулфендейл – давний даремский знакомый по моей командировке из Лидского университета в Университет Дарема; встречался с ним и в Москве, и на Европейском симпозиуме по космическим лучам в июле 2002 года.

Из крупных научных достижений А. Вулфендейла за последнее время в первую очередь следует отметить создание модели (совместно с А.Д. Ерлыкиным), объясняющей резкий излом в энергетическом спектре первичных космических лучей (the «knee», колено спектра в интервале энергий 10^{15} – 10^{16} эВ, об этом было сказано выше) вкладом близкого (галактического) молодого источника космических лучей. Из полдюжины статей Вулфендейла и Ерлыкина (1997–2009), которыми я располагаю, назову лишь одну – «Одиночный источник космических лучей в интервале 10^{15} – 10^{16} эВ»¹⁵.

Указанная модель Ерлыкина–Вулфендейла стала существенным продвижением в объяснении формы энергетического спектра первичных космических лучей в области сверхвысоких энергий – вопроса, актуальность и важность которого неоднократно подчеркивал С.Н. Вернов. Ведь именно Сергей Николаевич является одним из авторов открытия этой закономерности в энергетическом спектре (излома спектра) – проблемы, которая до настоящего времени остается предметом интереса (и, разумеется, продолжения исследований) для многих физиков-космиков; открытие было зарегистрировано в Государственном реестре Комитета по делам изобретений и открытий в 1970 г. с приоритетом 1958 года.

Рассказал о том, что говорили и писали о С.Н. Вернове английские физики, но далее, в виде исключения, в конце этой статьи добавлю: знакомиться с работами Вернова и его учеников приезжал в НИИЯФ американский физик, ставший известным писателем, Митчел Уилсон (M. Wilson). Когда-то Уилсон работал в лаборатории великого Энрико Ферми в Чикаго, поэтому его книги в основном о проблемах науки, об ученых, в основном о физиках – об их трудной, но интересной творческой профессии. Таковы романы М. Уилсона «Живи среди молний» (1949), в русском переводе – «Жизнь во мгле» (1951); «Дэви Мэллори» (1956); «Встреча на далеком меридиане»

¹⁵ Erlykin A.D., Wolfendale A.W. A single source of cosmic rays in the range 10^{15} – 10^{16} eV // J. Phys. G. Nucl. Part. Phys. 1997.

(1961). М. Уилсон неоднократно бывал в СССР. Первую свою книгу о физиках (в оригинале, с дарственной надписью) он подарил мне, когда в самом начале 1960-х годов несколько дней провел в лаборатории космических лучей – в 20-м корпусе МГУ, знакомясь, в частности, и с экспериментами моей группы в этой лаборатории. Прообразами персонажей одной его книги стали и российские ученые, в том числе научные сотрудники Московского университета.

Автор выражает глубокую благодарность за полезные обсуждения и помощь в написании второй части настоящей статьи: д-ру Х. Аллану (Лондон), проф. Г. Эллиоту (Лондон), проф. А. Ватсону (Лидс), проф. Дж. Прескотту (Аделаида), д-ру К. Джонсу (Лидс), проф. А. Вулфендейлу (Дарем) и д-ру А. Ерлыкину (Москва–Дарем).

2009 год

С.Н. ВЕРНОВ И ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ

И.В. Ракобольская

В конце войны для работ по советскому атомному проекту требовалось существенное увеличение выпуска специалистов по физике ядра. В декабре 1948 г. вышло постановление СМ СССР о подготовке высшими учебными заведениями специалистов для выполнения указанных работ. Во исполнение этого постановления в начале 1949 г. на базе кафедры строения вещества на физическом факультете было организовано Отделение строения вещества, в настоящее время называющееся Отделением ядерной физики. В него входило пять кафедр – физики атомного ядра, ускорителей, нейтронной физики и радиоактивных излучений, ядерной спектроскопии, космических лучей. Затем на этом отделении были созданы кафедры атомной физики, квантовой теории, организован филиал в Дубне с кафедрой элементарных частиц. Заведующим Отделением стал академик Д.В. Скобельцын. А с 1960 г. его заменил профессор (затем тоже академик) С.Н. Вернов. За прошедшие 40 лет структура Отделения изменялась, возникали новые кафедры и филиалы, менялись названия кафедр, они охватывали все более широкие проблемы атомной и ядерной физики в соответствии с потребностями в молодых специалистах в стране.

При НИИЯФ МГУ были созданы специальные практикумы, которыми руководили кафедры; научные лаборатории НИИЯФ, ФИАН, ИЯИАН, ИЗМИРАН представляли свою базу для экспериментальной и теоретической подготовки дипломников и аспирантов кафедры.

Первые выпускники кафедры космических лучей – будущие профессора Л.И. Сарычева, С.А. Славатинский, Г.Б. Христиансен, И.В. Ракобольская. В это время кафедрой руководил С.Н. Вернов, а я была его заместителем по отделению, а затем заместителем заведующего кафедрой. Сначала кафедра была малочисленной и состояла в основном из совместителей, затем стараниями С.Н. Вернова преподавательский состав увеличивался, научные интересы сотрудников расширялись и в настоящее время на кафедре работает 9 преподавателей и 2 научных сотрудника на полной ставке и 5 совместителей (академики Г.Т. Зацепин, А.Е. Чудаков; профессора М.И. Панасюк, А.П. Кропоткин, Н.Н. Калмыков). Кафедра ежегодно принимает 10–15 студентов 3-го курса, в аспирантуре кафедры обычно обучается не менее 10 аспирантов. Дипломные работы и кандидатские диссертации выполняются в основном в научных лабораториях НИИЯФ, а также в лабора-

ториях ФИАН, ИЯИАН, ИЗМИРАН, ИКИ. На кафедре читается 17 спецкурсов, выпускаются специалисты в области первичного космического излучения, астрофизики космических лучей, физики космического пространства, ядерного взаимодействия высоких энергий.

Но это сегодня. До этого пройден большой путь под руководством академика С.Н. Вернова. Я хорошо помню первое выступление Сергея Николаевича перед студентами: «Забудьте о свободных днях в воскресенье, о свободных вечерах среди недели. Если вы хотите стать настоящими учеными, вы должны все свое время отдавать науке – работать, думать, читать».

Сергей Николаевич огромное значение придавал практической работе студентов в научных коллективах. Уже находясь в вузе, студенты должны участвовать в решении наиболее актуальных проблем наиболее современными методами. Чем более инициативным является студент, тем раньше должно начаться его общение с современной наукой и техникой, ее творцами. Поэтому очень важно привлечение к преподавательской работе ведущих специалистов научно-исследовательских институтов. Сергей Николаевич писал: «Преподавание дает возможность крупным специалистам взглянуть на свою область как бы со стороны. Проверить полноту своих знаний и убедительность сделанных выводов». Он считал, что каждый специалист должен передавать свои знания другим и учиться у своих учеников. Сам Сергей Николаевич никогда не стеснялся учиться у своих учеников. Так, например, в институте появились первые электронно-вычислительные машины, он поручил В.И. Галкину, аспиранту проф. И.П. Иваненко, при помощи машины ЕС 10-40 представить информацию, полученную при наблюдении процессов на Солнце. Учился сам машинным методам обработки, восхищался результатами: «Вот как здорово, как хорошо!» А потом писал в своих статьях: «Электронно-вычислительные машины должны пронизать весь учебный процесс».

Сергей Николаевич обладал способностью быстро замечать все новое, что появлялось в науке, и внедрять новые направления в обучение студентов на кафедре и отделении. Так, уже создание первых спутников Земли, открытие радиационных поясов повлекло за собой организацию на кафедре целого цикла новых лекций по космофизическим проблемам, добавилось это и в название кафедры – «Космические лучи и физика космоса».

Родилось космическое материаловедение; наша кафедра стала тесно сотрудничать с лабораторией А.И. Акишина и выпускать студентов по этому направлению.

Создание огромных лабораторий по исследованию нейтрино в ОИЯИ АН повлекло за собой организацию спецкурса по нейтринной астрофизике и направление студентов для работы в этих лабораториях. Сергей Николаевич писал: «Надо иметь возможность быстро готовить специалистов в таких об-

ластях, которые раньше просто не существовали». Фактически почти все научные коллективы физических институтов, работающие в области космических лучей, состоят из выпускников нашей кафедры.

Одновременно с подготовкой специалистов по узким проблемам, Сергей Николаевич считал необходимым и очень важным предусмотреть подготовку научных работников очень широкого профиля (почти энциклопедистов). Сам он скорее всего и принадлежал к последним, несмотря на его активную работу по физике космического излучения.

Сергей Николаевич был прост в общении, доступен, несмотря на огромную загруженность работой. Уговаривая меня стать его заместителем после смерти профессора Л.И. Лебединского, приводил неожиданные доводы: «Если не согласитесь, я назначу своим заместителем другого. Вам же будет хуже!» Он ценил мою помощь ему в руководстве кафедрой и в свою очередь считал своим долгом помогать мне в моей научной работе в НИИЯФ. После защиты мной кандидатской и докторской диссертаций немедленно говорил с деканом физического факультета о переводе меня на следующую по рангу должность: доцента и профессора.

Студенты очень ценили встречи с Сергеем Николаевичем, когда он говорил с ними об образовании, о науке, о будущем.

Сергей Николаевич вообще был внимателен к людям и всегда охотно помогал своим сотрудникам по всем вопросам: жилья, лечения, помещений для работы и др.

Сам Сергей Николаевич первое время читал лекции по основному курсу «Введение в физику космических лучей», передав его затем другим преподавателям. Непрерывно руководил аспирантами, выполнявшими работу в лабораториях НИИЯФ.

Постепенно спецкурсы Отделения ядерной физики переходили на кафедры, где читались уже с учетом специфики кафедры. Увеличивалось число задач в специальном практикуме по космическим лучам; появились учебные задачи в лабораториях.

Нельзя недооценивать роль С.Н. Вернова в развитии высшего образования по современным направлениям ядерной физики и космических лучей.

Сергей Николаевич был ярким человеком с четким нестандартным мышлением, и я благодарна судьбе, что она дала мне возможность много лет работать рядом с ним.

2009 год

СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕРНОВ – КООРДИНАТОР ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ВУЗАХ СССР

Н.С. Зеленская

Это было время ошеломляющих научных достижений середины XX века – запуск первых искусственных спутников Земли (ИЗС), открытие ее радиационных поясов – время, которое совпало с моей молодостью. Сергей Николаевич Вернов, непосредственно связанный с этими величайшими достижениями, воспринимался нами как человек-легенда, «гость из будущего», хотя мы прекрасно знали, что он органично сочетает свои прорывные, пионерские научные исследования с обычной «земной» работой: руководит НИИЯФ МГУ, заведует отделением ядерной физики физфака МГУ и кафедрой физики космических излучений. В то время мне и в голову не приходило, что судьба сведет меня с Сергеем Николаевичем в конкретной научно-организационной работе, связанной с координацией ядерно-физических исследований в вузах нашей страны (тогда СССР).

В большинстве союзных министерств, с конца 1950-х и до 1985 гг. существовала система научно-технических советов (НТС), при которых функционировали отдельные секции по различным направлениям научных исследований. Сергей Николаевич Вернов возглавлял секцию ядерной физики НТС в Министерстве высшего и среднего специального образования (Минвузе) СССР практически с момента ее создания. Назначение Сергея Николаевича на этот пост подчеркивало ведущую роль Научно-исследовательского института ядерной физики Московского государственного университета в развитии ядерно-физических исследований в вузах и внедрении их в педагогическую практику, таким образом подготовка специалистов осуществлялась на базе передовых достижений ядерной науки.

Весной 1972 г. Сергей Николаевич Вернов предложил мне стать ученым секретарем секции ядерной физики НТС Минвуза СССР, и десять лет вплоть до его кончины, я занималась научно-организационной работой в постоянном контакте с этим замечательным человеком. Нужно отметить, что в состав секции входили крупные ученые, ректоры (или проректоры) всех вузов, где имелись ядерно-физические установки или в учебный план вуза была включена специальность «ядерная физика». Такой состав секции определял принципиальный уровень дискуссий и высокое качество принимаемых решений.

В деятельности секции ядерной физики НТС Минвуза СССР, как и в работе любого Ученого совета, много времени уходило на постоянную отчетность по самым разным направлениям. Это и составление ежегодных отчетов о развитии ядерно-физической науки в вузах с указанием наиболее значимых результатов, признанных на мировом уровне; и рекомендации секции о целесообразности зарубежных командировок специалистов вузов (вместе с отзывами на их последующие отчеты); и рецензии на псевдонаучные работы по ядерной физике, присылаемые Минвузу; и рассмотрение публикаций статей ядерно-физического профиля в журнале «Известия вузов». Сергей Николаевич к этой деятельности относился очень внимательно и серьезно: в годовых отчетах всегда просил отмечать работы, выполняемые совместно с институтами Академии наук СССР, в отчетах по зарубежным командировкам выделял интересные экспериментальные работы и т. д. Уровень его ответственности за каждый представленный материал был чрезвычайно высок. Рекомендации секции, а с ними и НТС выносились на коллегии Минвуза, представлялись в Совмин, обсуждались на совместных заседаниях с Академией наук. Сергей Николаевич подписывал только материалы, продуманные до конца, отточенные до последней фразы.

Одним из наиболее ярких событий этих десяти лет, в проведении которого проявился незаурядный талант Сергея Николаевича как блестящего организатора, оказалась коллегия Минвуза СССР (19 декабря 1972 г.), посвященная 50-летию ядерно-физических исследований в вузах СССР. О том, что такая коллегия состоится и Сергей Николаевич будет выступать на ней с докладом, стало известно только в последних числах ноября, т.е. меньше чем за три недели до коллегии. Сергей Николаевич немедленно создал оперативный штаб по подготовке проекта доклада, отведя на написание текста 10 дней. Через 10 дней Сергей Николаевич собрал совещание, в котором участвовали представители крупнейших вузов Москвы и Ленинграда, а также академических институтов. На совещании внесли коррективы в текст доклада, разработали макеты всех иллюстративных материалов. На доработку доклада Сергей Николаевич выделил три дня.

Несмотря на дефицит времени, оперативный штаб все успел: таблицы и графики рисовали даже в субботу и воскресенье. Доклад срочно издали в виде брошюры, чтобы распространить на коллегии. Самым впечатляющим иллюстративным материалом была схематическая карта СССР, на которой лампочками синего цвета были показаны вузы, где ядерно-физические исследования проводились до войны, а красного цвета – вузы, где эти исследования стали развиваться в послевоенное время. Во время блестящего доклада Сергея Николаевича карта внезапно вспыхнула в основном красным цветом, что вызвало восторг и аплодисменты членов коллегии. Брошюра с текстом доклада разошлась мгновенно.

Хорошо помню заседание секции ядерной физики летом 1976 г., посвященное модернизации экспериментальной базы вузов. Исторически сложилось так, что в конце 50-х гг. прошлого века в четырех вузах: НИИЯФ МГУ, НИФИ ЛГУ, Уральском политехническом институте и Ростовском государственном университете – были построены и запущены в эксплуатацию однотипные ускорители заряженных частиц – циклотроны диаметром 120 см, с энергией ≈ 7 МэВ/нуклон. В последующие годы появились принципиально новые ускорители – танدهмы, позволяющие увеличить энергию ускоренных частиц и расширить их массовый диапазон (в частности ускорять тяжелые ионы). На заседании секции составили пояснительную записку, обосновывающую необходимость замены циклотронов этой серии современными тандемами. К сожалению, Сергей Николаевич не смог присутствовать на заседании секции, тем не менее пояснительную записку он тщательно изучил и внес в нее некоторые коррективы.

Конечно, разработка крупных научных проектов (таких, как ШАЛ-1000) шла в основном по линии Академии наук. Тем не менее, поскольку НИИЯФ МГУ в этом проекте был утвержден головной организацией, секция ядерной физики своим специальным решением просила НТС Минвуза СССР выступить в его поддержку.

Сергей Николаевич Вернов – выдающийся ученый, человек государственного масштаба – всегда способствовал развитию ядерных исследований в вузах СССР. Его авторитет в Минвузе и в Академии наук был непререкаем. Его жизненная и гражданская позиции вызывали у молодежи стремление служить науке, постигать неизведанное.

Для меня многие годы совместной работы с академиком Сергеем Николаевичем Верновым также не прошли бесследно. Главное, Сергей Николаевич научил меня, что в любом деле нужно всегда быть нацеленным на решение основной, крупной задачи, но при этом никогда не забывать деталей и мелочей, которые могут неожиданно повлиять на ход решения. Сергей Николаевич даже к обычной организационной работе относился весьма ответственно, никогда не допускал поспешности и недооценки в любом деле.

2009 год

ПОСЛЕДНЕЕ НАУЧНОЕ УВЛЕЧЕНИЕ С.Н. ВЕРНОВА

Г.А. Базилевская

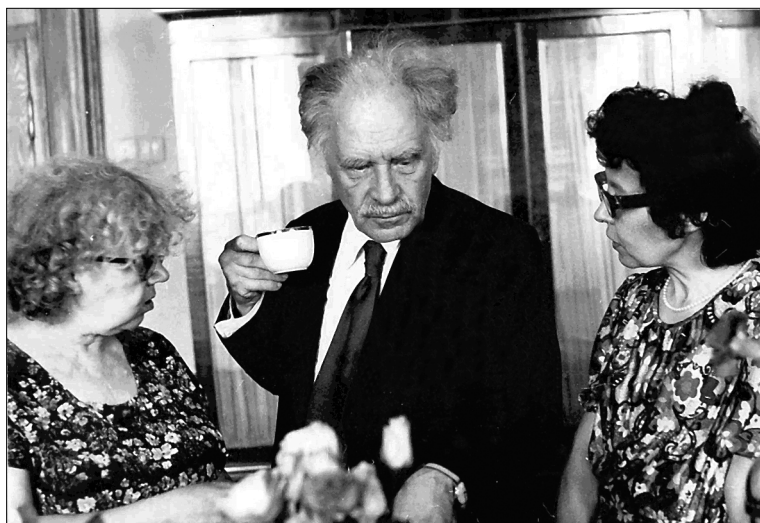
С.Н. Вернов – основатель и первый директор Долгопрудненской научной станции ФИАН, которая теперь носит его имя. Хотя в начале 1950-х годов он вынужден был уйти со станции, но продолжал быть идейным вдохновителем всех ведущихся там исследований вплоть до самой своей смерти. Вместе с А.Н. Чарахчяном Сергей Николаевич задумал долговременный эксперимент по мониторингу космических лучей в атмосфере Земли, начатый в 1957 г. и продолжающийся по сей день. В первые годы эксперимента, когда о радиации в атмосфере было известно мало, результаты измерений нередко бывали неожиданными, возбуждали во всех участниках жгучий интерес и требовали постоянных обсуждений. Позже, когда начались эксперименты в космосе, Сергей Николаевич уже не мог ежедневно заниматься стратосферными делами, но продолжал постоянно интересоваться научными результатами и нередко приезжал в Долгопрудный. Правда, теперь он обычно приезжал к А.Н. и Т.Н. Чарахчянам по вечерам домой, где и обсуждались все возникающие проблемы. Тем не менее все сотрудники Долгопрудненской станции всегда ощущали внимание Сергея Николаевича к своей работе.

В середине 1970-х годов С.Н. Вернов заинтересовался динамикой солнечной активности. Вероятно, это было стимулировано тем, что его дочь, Е.С. Вернова, делала в это время дипломную работу под руководством Т.Н. Чарахчяна, посвященную 27-дневным вариациям космических лучей, которые связаны с вращением Солнца. Причудливые временные ряды числа солнечных пятен всегда вызывают желание угадать какой-то закон, управляющий их рождением и распадом, и Сергей Николаевич не избежал этого. Был изобретен метод вектора долготной асимметрии пятен, в котором каждая группа пятен отождествлялась с полярным вектором, укорененным в центре Солнца. Направление вектора определялось кэррингтоновской долготой группы, а модуль был пропорционален площади пятен. Векторы всех групп пятен за солнечный оборот суммировались, и рассматривалось поведение суммарного вектора от оборота к обороту. Получалось, что иногда вектор долготной асимметрии в течение довольно длительного времени вращался в одном направлении, что вызывало у Сергея Николаевича удивление и восторг. Другое явление, привлекавшее к себе внимание Сергея Николаевича, заключалось в спорадическом относительно длительном отсутствии пятен в некоторой области Солнца внутри королевской зоны («выжигание», по терминологии Сергея Николаевича).

Я занималась близкими проблемами с А.Н. Чарахчяном и Т.Н. Чарахчяном, поэтому в 1977 году я стала близко сотрудничать с Сергеем Николаевичем. Несмотря на огромную занятость административной и организационной работой, Сергей Николаевич ухитрялся уделять немало времени научным обсуждениям. Его дотошность и неутомимость были всем известны. Например, когда он приезжал на Долгопрудненскую научную станцию, там сам собой получался аврал. У Сергея Николаевича было прозвище «Вернов – Прощай, обед», которым он даже гордился. Вечером, освободившись от других дел, он нередко звонил домой сотрудникам, донимал вопросами, интересовался последними публикациями. Сергей Николаевич постоянно размышлял над полученными результатами и при возможности записывал свои мысли на листах бумаги, преимущественно карандашом. Потом он передавал нам эти листы с просьбой проверить его гипотезы, используя данные наблюдений. Энергия его была поразительна. Если он принимал решение что-либо сделать, то мгновенно решал, кто должен принять в этом участие, и требовал самых эффективных действий. Все, кому приходилось заниматься с Сергеем Николаевичем научной работой, заражались его увлеченностью и испытывали счастье от возможности заниматься любимым делом, так как сам факт «обсуждений с Верновым» заставлял отодвигать на задний план все другие обязанности. Он придерживался волевого стиля руководства, восхищался С.П. Королевым и Петром I. Из отечественных ученых он больше всех ценил В.И. Вернадского, С.И. Вавилова и Н.Н. Боголюбова. Примером для подражания называл Д.В. Скобельцына. Со своей стороны, Сергей Николаевич умел ценить способности и успехи своих сотрудников. Он любил талантливых людей, с большой теплотой отзывался о А.Е. Чудакове, А.Н. Чарахчяне, Б.А. Тверском, Г.Ф. Крымском. Ему нравилось употреблять свое могущество во благо других. Когда удавалось кому-нибудь из сотрудников помочь, он бывал счастлив.

В это время в НИИЯФ появился новый корпус (высоких энергий), в котором функционировала вычислительная машина ЕС 10-40. В корпусе у Сергея Николаевича был большой современный кабинет из двух комнат, в котором и проводилась наша работа по изучению динамики долготного распределения солнечной активности. Сергей Николаевич очень радовался новому кабинету, новой вычислительной машине. Начальник ЭВМ И.И. Алексеев поручил М.С. Григорян помогать нам в работе. М.С. Григорян – исключительно увлеченный человек, при отладке программ (а этот процесс при работе «в очередь» занимал много времени) она не могла уйти домой, пока программа не заработает нормально, и нередко оставалась на машине на ночь. Очень помог нам В.И. Галкин, который написал для нас первую версию программы для работы на графопостроителе. После этого Сергей Николаевич мог бесконечно наслаждаться видом динамики групп солнечных пятен на разных гелиоширотах. Обязанности лаборантов вы-

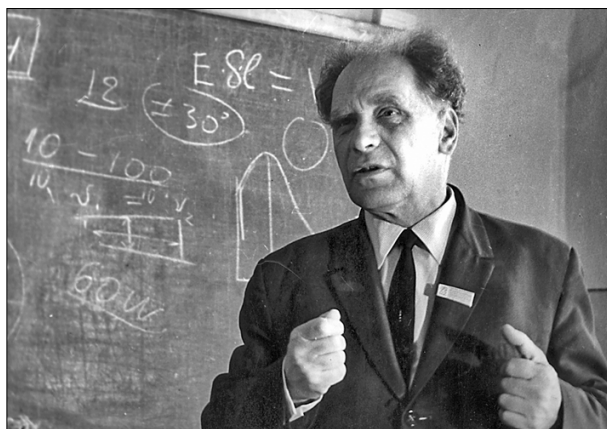
полняла так называемая оформительская группа под руководством Е.А. Ворониной (Т.Н. Маслова и Т.М. Кирюхина). В то время персональные компьютеры не были распространены, и эти женщины мастерски готовили иллюстрирующие материалы для многочисленных выступлений Сергея Николаевича. Однако им пришлось набивать огромные массивы информации о солнечных пятнах. Мы использовали гринвичские и пулковские данные. Сначала набивка шла на перфокарты, а позже стало возможно вводить информацию с терминала. Мониторов не хватало, возникли очереди и недовольство, что мониторы используют для столь тупой работы и «непрофессионально». Действительно, использование мониторов для набивки данных было тогда возможно только по указанию Сергея Николаевича.



Т.Н. Чарахчян, С.Н. Вернов, Г.А. Базилевская

Группа Е.А. Ворониной изготовила плакат, на котором последовательно во времени располагались картинки магнитных полей солнечных пятен, издаваемые как приложение к «Солнечным данным». Плакат занимал всю стену в новом кабинете Сергея Николаевича, и его с интересом разглядывали посетители. Сергей Николаевич пользовался всякой возможностью обсудить волнующие его проблемы с ведущими физиками. Для обсуждения результатов он приглашал к нам А.Е. Чудакова, Г.Ф. Крымского, Б.А. Тверского, А.З. Долгинова. Б.А. Тверской сразу сказал, что проблема солнечного динамо не будет решена в XX веке. Г.Ф. Крымский подозревал в наших результатах игру статистики и советовал как можно больше делать искусственное моделирование методом Монте-Карло. А.Е. Чудаков, судя по его скептической реакции, не считал нашу работу перспективной.

Сергей Николаевич старался обсудить результаты со специалистами-солнечниками. В 1980 г. он, Е.С. Вернова, М.И. Тясто и я ездили на конференцию солнечных в Потсдам, где работа вызвала определенный интерес. Конечно, мы не могли ограничиться только солнечной активностью и стали изучать ее влияние на динамику 27-дневной вариации космических лучей, о чем и была написана серия статей. Нужно ли говорить, что тайна причудливых изменений долгого распределения солнечной активности до сих пор остается не раскрытой?



С.Н. Вернов. Выступление на конференции

Наука поглощала Сергея Николаевича до последних дней жизни. Будучи уже тяжело больным, он мог несколько часов подряд (не раз это было 6 часов без перерыва) обсуждать научные вопросы, заражая всех своей увлеченностью. После его смерти мне передали большие листы бумаги, исписанные им карандашом вкривь и вкось в больнице, на тему о рекуррентных сериях. Позже я передала их Е.С. Верновой. Она до настоящего времени занимается проблемой 27-дневных вариаций, бывших последним увлечением Сергея Николаевича.

Неординарность Сергея Николаевича поражала всякого, кто соприкасался с ним в работе, и это впечатление запоминалось на всю жизнь.

2004 год

ЖАЖДА НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ – ДО ПОСЛЕДНЕГО ЧАСА

Л.В. Тверская

Размышляя, на чем сосредоточиться в своих воспоминаниях о Сергее Николаевиче Вернове, с которым не так уж часто общалась лично, я открыла сборник трудов 1-й Всесоюзной конференции по космическим исследованиям (Москва, 10–16 июня 1965 г.). Оказалось, что из всех соавторов Сергея Николаевича по спутниковым исследованиям, которые участвовали в работе знаменитых семинаров Вернова и выступали там с докладами, в настоящее время продолжают работать в НИИЯФ Юрий Иванович Логачев, Михаил Владимирович Тельцов и я. Юрий Иванович в то время был уже сложившимся ученым, одним из соавторов открытия внешнего радиационного пояса Земли. Михаил Владимирович Тельцов, хотя был ненамного старше меня, уже имел некоторый опыт в экспериментальной ядерной физике, который он приобрел еще студентом в Курчатовском институте (тогда ЛИПАН). Я же была молодым специалистом, закончившим кафедру электроники, и не очень уверенно владела «ядерным языком». Правда, как оказалось в дальнейшем, мои знания движения заряженных частиц в магнитном поле оченьгодились. Думаю, впечатления неопита от семинаров Вернова первых лет космической эры могут представлять интерес.

Я пришла в НИИЯФ в 1962 году. Шел всего лишь четвертый год после открытия радиации в околоземном космическом пространстве. Еще не открыт хвост магнитосферы, не внедрена система инвариантных координат Мак-Илвайна, в которой до настоящего времени систематизируются данные измерений заряженных частиц в магнитосфере. Нет специальных журналов по космическим исследованиям ни в СССР, ни за рубежом. Каждая выходящая в зарубежных журналах статья по нашей тематике докладывается на семинаре.

Семинар проходил в предельно демократичной обстановке, без регламентирования времени для докладчика и выступающих в дискуссии. Любой участник семинара мог задавать вопросы докладчику по ходу доклада, и, если понадобится, тут же выходил к доске, чтобы изложить свои аргументы. Сергей Николаевич сидел за директорским столом, но нередко подбегал с мелом к доске, говоря докладчику извиняющимся тоном: «Я узурпирую на некоторое время Ваши права», и предлагал свой вариант решения для обсуждения. И что совершенно замечательно, не боялся

быть неправым, немедленно признавал свою ошибку, если таковая случалась. Таким образом, каждый семинар был неким «мозговым штурмом».

Конечно, не все участники семинара в равной мере принимали в таком процессе непосредственное участие. Выделялись в аудитории «гиганты мысли»: Александр Евгеньевич Чудаков, Велиор Петрович Шабанский и Борис Аркадьевич Тверской. Запомнились скептические, иногда даже язвительные замечания Чудакова, которые произносились басом громовержца, с характерным растянутым э...э...э... в середине фразы. Непрерывно рвался к доске темпераментный Шабанский. Самый молодой из «авторитетов», Тверской, пришедший в НИИЯФ в 1961 году с «аспирантской скамьи», был невозмутим и сдержан в своих суждениях, которые частенько ставили последнюю точку в споре.



«Мозговой штурм» в кабинете С.Н. Вернова. Докладывает Ю.И. Логачев. Сидят (слева направо): Н.Н. Контор, Б.А. Тверской, А.Е. Чудаков, С.Н. Вернов, Е.В. Горчаков (1960-е годы)

Члены этого триумвиата были заядлыми курильщиками. Одну за другой они выкуривали сигареты, чаще всего марки «Прима» московской фабрики «Дукат». Так что весь кабинет Вернова во время семинара был заполнен

клубами сизого дыма. Кондиционеров тогда не было, и даже после длительных проветриваний кабинет после семинаров сохранял устойчивый запах дыма. В ответ на просьбы курить поменьше Тверской отшучивался, приводя высказывание Шерлока Холмса: «Концентрация дыма способствует концентрации мысли».

Значительную часть зарубежных статей поручалось докладывать молодым сотрудникам. Мне досталась первая работа Мак-Илвайна по инвариантным L, B -координатам. Я, конечно, выучила наизусть дословный перевод статьи. Но это мало пригодилось. Как только я изложила постановку задачи, началось активное обсуждение. Сергей Николаевич подключился очень быстро, чувствовалось, что его очень занимает тема. И сразу возник вопрос, нельзя ли у нас при обработке данных измерений заряженных частиц использовать L, B -координаты. Как оказалось, у Юрия Ильича Гальперина имелись рассчитанные американцами таблицы адиабатических инвариантов движения частиц в геомагнитном поле. Они никем не использовались. В НИИЯФ были сделаны фотокопии этих таблиц, я храню их до сих пор. (Замечу, что в то время не было такой множительной техники, как сейчас, и со статей и препринтов делались фотокопии.)

Сергей Николаевич попросил Тверского посмотреть эти таблицы и сказать, нельзя ли их использовать для расчета L, B -координат. Тверской предложил схему расчета, и мне поручили ее реализовать. Выделили нескольких девочек из группы обработки, и мы на арифмометрах несколько дней считали L, B к экспериментальным данным за одни сутки полета 2-го корабля-спутника. Сергей Николаевич с нетерпением ждал результатов. Однако, когда я попыталась построить графики интенсивности электронов с энергиями в сотни кэВ в L, B -пространстве (по образцу американских работ для данных на больших высотах), получилась невероятная каша: интенсивности при одинаковых значениях L, B , т. е. на одной дрейфовой траектории, сильно расходились, хотя теоретически должны быть равны. Когда сгруппировала данные по долготам, проявился очень красивый эффект: интенсивность электронов на дрейфовой траектории при входе в аномалию с запада в несколько раз превышает интенсивность на выходе из аномалии. Так был обнаружен эффект долготной зависимости потоков электронов вдоль дрейфовой траектории. Сергей Николаевич был доволен результатом и после обсуждения дал добро на публикацию. Статья вышла в журнале «Геомагнетизм и аэрномия» в 1963 г. Когда была создана в 1965 г. машинная программа расчета L, B -координат, обработанные с ее помощью данные «Космоса-17» подтвердили этот результат. Американцы обнаружили этот эффект только в 1967 г. и дали ему очень удачное название – эффект «дворника». Надо отдать должное американцам – они умеют давать броские и точные названия явлениям. По-видимому, сказывалась многолетняя привычка к рекламе, где броскость и яркость терминов решают все.

В те годы новые названия различных областей магнитосферы сыпались как из рога изобилия: «хвост» Несса, «юбка» Франка, и даже шуточная ню-модель магнитосферы Редерера.

К концу десятилетия космической эры были уже открыты все основные плазменные структуры в магнитосфере. В частности, в 1965 г. мне довелось выступить на семинаре с сообщением об открытии Нессом хвоста магнитосферы.

В дальнейшем семинар вошел в не столь бурное русло, наступило время работы по систематизации знаний в космофизике, и на семинаре уже делались обзоры работ по физике магнитосферы, межпланетной среды, солнечных космических лучам. В 1968 г. в Вашингтоне состоялся симпозиум по итогам 10 лет исследования магнитосферы, где от НИИЯФ было два заказных доклада – Вернова и Тверского.

На международные конференции в то время ездили немногие советские ученые. Разрешалось делать доклады других авторов. В обязательном порядке представлялись в оргкомитет перед началом конференции препринты докладов на английском языке. Вернову и Чудакову приходилось нести огромную нагрузку, представляя доклады наших сотрудников за рубежом. Так, доклад моего мужа, Б.А. Тверского, по теории диффузии частиц в радиационных поясах на конференции по космическим лучам в Джейпуре (Индия, 1963) представлял А.Е. Чудаков. После этого доклада появилось много зарубежных работ на эту тему, а программные комитеты конференций стали заказывать Тверскому обзорные доклады. Но все их в разное время представляли С.Н. Вернов, К.И. Грингауз и даже Я. Аксфорд. В 1970–1980-е годы несколько Международных конференций по космофизике состоялось в Советском Союзе. Запомнились ассамблея КОСПАР и Симпозиум по солнечно-земной физике в Ленинграде в 1970 г. Сергей Николаевич организовал Ленинградский ежегодный международный семинар по космофизике, где имели возможность выступить многие наши ученые, а из-за рубежа регулярно приезжали крупные космофизики (достаточно называть имена Альвена, Винклера, Вильямса, Несса, Фиска).

Препринты зарубежных работ присылались нашим ученым в огромном количестве. Моему мужу присылались запросы на отзыв о работах какого-нибудь американского ученого, получающего научную степень, или при представлении на должность профессора.

В общем, несмотря на «железный занавес», шел интенсивный, уважительный обмен результатами между советскими и американскими космофизиками. Конечно, ощущалось влияние на американцев факта «первородства» русских в космосе. Космофизики НИИЯФ, возглавляемые Сергеем Николаевичем, высоко держали планку научных результатов, нередко опережая зарубежных ученых.

В заключение, уже со слов моего мужа, хочу сказать о последних днях жизни Сергея Николаевича. Я была свидетелем их ежедневных многочасовых разговоров по телефону. Сергей Николаевич, уже тяжело больной, увлекся изучением магнитной гидродинамики и ее применением к объяснению процессов на Солнце. При этом он не просто довольствовался тем, что объяснял Тверской, но и просил ставить ему какие-нибудь теоретические задачи, с которыми он мог бы справиться сам, и радовался как ребенок, когда получал результат. Жажда знаний ему затмевала все. Этой жаждой он заражал всех окружающих и сохранил ее до последнего часа.

Я благодарна судьбе за то, что она предоставила мне возможность общаться с замечательным ученым, одним из основоположников космофизики, Сергеем Николаевичем Верновым и быть его соавтором.

2009 год

ЧАСТЬ III

БИБЛИОГРАФИЯ

ТРУДОВ С.Н. ВЕРНОВА

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ С.Н. ВЕРНОВА

1931

Вернов С.Н. Продолжительность и характеристики разряда в счетчиках Гейгера–Мюллера // Труды Радиового института АН СССР. 1931. С. 30–41.

1934

Vernov S.N. On the study of cosmic rays at the great altitudes // Phys. Rev 1934. V. 46. P. 822.

1935

Vernov S.N. Radio-transmission of cosmic ray data from the stratosphere // Nature. 1935. V. 135. P. 1072–1073.

Вернов С.Н. Применение счетчика Гейгера–Мюллера для изучения космических лучей в стратосфере // Тр. Всесоюз. конф. по изуч. стратосферы (31 марта 1934 г.). Л.; М.: Изд-во АН СССР. 1935. С. 423–427.

1936

Вернов С.Н. Изучение космических лучей в атмосфере при помощи радиозондов // Дис. канд. физ.-мат. наук. М. 1936.

1937

Вернов С.Н. Изучение космических лучей в стратосфере на магнитной широте 35° // Докл. АН СССР. 1937. Т. 14. С. 263–266.

1938

Вернов С.Н. Изучение космических лучей в стратосфере посредством передачи сигналов по радио // Изв. АН СССР. 1938. № 1/2. С. 121–122.

Вернов С.Н. Широтный эффект космических лучей в стратосфере // Изв. АН СССР. 1938. № 5/6. С. 738–740.

1939

Вернов С.Н., Миронов А.В. Изучение космических лучей в стратосфере вблизи магнитного экватора // Докл. АН СССР. 1939. Т. 23. С. 138–140.

Вернов С.Н. Анализ широтного эффекта космических лучей в стратосфере // Докл. АН СССР. 1939. Т. 23. С. 141–143.

Вернов С.Н. О переходном максимуме по данным наблюдений на субстратостатах // Докл. АН СССР. 1939. Т. 24. С. 860–863.

Вернов С.Н. О некоторых расхождениях между опытными данными и выводами каскадной теории Баба–Гайтлера–Арли // Докл. АН СССР. 1939. Т. 24. С. 864–868.

1940

- Вернов С.Н., Скобельцын Д.В.* О мягкой компоненте космических лучей в связи с вопросом о распаде мезотронов // Докл. АН СССР. 1940. Т. 26. С. 32–35.
- Вернов С.Н.* Сопоставление каскадной теории с экспериментальными данными // Изв. АН СССР. 1940. Т. 4. С. 254–259.

1945

- Вернов С.Н.* Широтный эффект космических лучей в стратосфере и проверка каскадной теории в случае прохождения электронов через вещество с малым атомным номером // Дис. докт. физ.-мат. наук. М. 1939; Тр. ФИАН. 1945. Т. 3. № 1. С. 27–114.

1946

- Vernov S.N., Vavilov O.N.* Transition effects of the soft component of cosmic rays // Phys. Rev. 1946. V. 70. P. 769–770.

1947

- Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Савин Ф.Д.* Изучение переходного эффекта космических лучей в стратосфере при помощи ионизационной камеры // Докл. АН СССР. 1947. Т. 57. С. 137–139.
- Бриккер С.И., Вернов С.Н., Евреинова И.М. и др.* Изучение переходного эффекта космических лучей в стратосфере при помощи счетчиков // Докл. АН СССР. 1947. Т. 57. С. 141–143.

1948

- Бриккер С.И., Вернов С.Н., Григоров Н.Л. и др.* Переходный эффект космических лучей в стратосфере // Докл. АН СССР. 1948. Т. 61. С. 629–631.
- Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Савин Ф.Д.* Измерение толчков, создаваемых космическими лучами в стратосфере с помощью ионизационной камеры // Докл. АН СССР. 1948. Т. 61. С. 815–816.
- Вернов С.Н., Куликов А.М.* Угловое распределение космических частиц в стратосфере // Докл. АН СССР. 1948. Т. 61. С. 1013–1015.
- Алексеева К.И., Вернов С.Н.* Изучение ливней космических лучей, сопровождающих проникающие частицы // Докл. АН СССР. 1948. Т. 62. С. 199–202.
- Вернов С.Н., Чарахчян А.Н.* Исследование с помощью годоскопа ливней частиц, образованных в свинце космическими лучами в стратосфере // Докл. АН СССР. 1948. Т. 62. С. 319–321.
- Барадзей Л.Т., Вернов С.Н., Смородин Ю.А.* Исследование мягкой и жесткой компонент космических лучей в стратосфере // Докл. АН СССР. 1948. Т. 62. С. 465–467.
- Барадзей Л.Т., Вернов С.Н., Смородин Ю.А.* О распадающихся частицах в составе космических лучей в стратосфере // Докл. АН СССР. 1948. Т. 63. С. 233–234.

1949

- Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Добротин Н.А. и др.* Определение знака заряда первичных частиц космических лучей по измерениям азимутальной асимметрии в стратосфере и районе экватора // Докл. АН СССР. 1949. Т. 68. С. 253–255.
- Алексеева К.И., Вернов С.Н.* Изучение поглощения космических лучей в стратосфере // Докл. АН СССР. 1949. Т. 69. С. 317–319.
- Вернов С.Н., Чарахчян А.Н.* Исследование структуры ливней, создаваемых первичными космическими лучами в стратосфере // Докл. АН СССР. 1949. Т. 69. С. 523–525.
- Вернов С.Н., Чарахчян Т.Н.* Изучение высотной зависимости ливней, создаваемых первичными космическими лучами в стратосфере // Докл. АН СССР. 1949. Т. 69. С. 629–630.
- Вернов С.Н.* Изучение взаимодействия первичной компоненты космических лучей с веществом в стратосфере // ЖЭТФ. 1949. Т. 19. С. 622–626.

Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Чарахчян А.Н. Исследование космических лучей в стратосфере // Вестн. МГУ. 1949. № 11. С. 71–88.

1950

Вернов С.Н., Куликов А.М. Угловое распределение космических лучей в стратосфере // Докл. АН СССР. 1950. Т. 73. С. 483–486.

Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Чарахчян Т.Н. Исследование космических лучей в стратосфере // Изв. АН СССР. 1950. Т. 14. С. 51–63.

1951

Алексеева К.И., Вернов С.Н., Осокина Р.И. Изучение в стратосфере свойств проникающих космических лучей // Докл. АН СССР. 1951. Т. 80. С. 725–727.

Вернов С.Н., Куликов А.М., Фейнберг Е.Л. Угловое распределение энергии вторичного излучения, создаваемого первичными космическими частицами // Докл. АН СССР. 1951. Т. 80. С. 871–874.

Вернов С.Н., Добротин Н.А., Зацепин Г.Т. К вопросу о существовании варитронов // ЖЭТФ. 1951. Т. 21. С. 1045–1061.

1952

Вернов С.Н., Куликов А.М., Чарахчян А.Н. Азимутальная асимметрия космических лучей в стратосфере // Докл. АН СССР. 1952. Т. 85. С. 525–528.

Вернов С.Н., Добротин Н.А., Зацепин Г.Т. Еще раз о существовании варитронов // ЖЭТФ. 1952. Т. 22. С. 499–505.

1953

Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Глокова Е.С. Природа и вариации первичного космического излучения // Тр. III совещ. по вопр. космогонии (14–15 мая 1953 г.). М.: Изд-во АН СССР. 1953. С. 10–33.

Вернов С.Н., Зацепин Г.Т., Фрадкин М.И. Атомные ядра различных элементов в первичном космическом излучении // Тр. III совещ. по вопр. космогонии (14–15 мая 1953 г.). М.: Изд-во АН СССР. 1953. С. 39–66.

Вернов С.Н., Чарахчян А.Н. Исследование электронно-ядерных ливней и проникающих частиц в стратосфере на различных широтах // Докл. АН СССР. 1953. Т. 91. С. 487–490.

Вернов С.Н., Куликов А.М., Чарахчян А.Н. Природа и свойства первичного космического излучения // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1953. Т. 17. С. 13–20.

1954

Вернов С.Н., Гладышев В.А., Филатов В.М. и др. О характере поглощения космических частиц на различных высотах атмосферы // Докл. АН СССР. 1954. Т. 94. С. 425–427.

1955

Вернов С.Н. Вступительное слово на III Всесоюзном совещании по физике космических лучей // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1955. Т. 9. С. 491–492.

Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Зацепин Г.Т., Чудаков А.Е. Изучение взаимодействия нуклонов с легкими ядрами при энергиях порядка 109–1012 эВ // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1955. Т. 9. С. 493–501.

1957

Вернов С.Н., Гинзбург В.Л., Курносова Л.В. и др. Исследование состава первичного космического излучения // Успехи физ. наук. 1957. Т. 63. С. 131–144.

Вернов С.Н., Логачев Ю.И., Чудаков А.Е., Шафер Ю.Г. Исследование вариаций космического излучения // Успехи физ. наук. 1957. Т. 63. С. 149–162.

1958

- Вернов С.Н., Гинзбург В.Л., Курносова Л.В. и др.* Изучение первичного космического излучения с использованием искусственных спутников Земли // Proc. 8th Intern. Astron. Congr. Vienna: Springer-Verlag. 1958. P. 464–477.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Куликов Г.В. и др.* Закономерность в энергетическом спектре космических лучей: Диплом на открытие № 84 с приоритетом от 22 апреля 1958 г.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др.* Внешний радиационный пояс Земли: Диплом на открытие № 23 с приоритетом от июня 1958 г.: (По дате докл. на V Ассамблее Международ. геофиз. года).
- Вернов С.Н., Логачев Ю.И., Григоров Н.Л., Чудаков А.Е.* Измерение космического излучения на 2-м ИСЗ // Докл. АН СССР. 1958. Т. 120. С. 1231–1233.
- Вернов С.Н., Тулинов В.Ф., Чарахчян А.Н.* 27-дневные вариации интенсивности космических лучей в стратосфере // Докл. АН СССР. 1958. Т. 122. С. 788–791.
- Вернов С.Н., Вакулов П.В., Горчаков Е.В. и др.* Изучение мягкой компоненты космических лучей за пределами атмосферы // Искусственные спутники Земли. М. 1958. Вып. 2. С. 61–69.

1959

- Вернов С.Н., Чудаков А.Е.* Изучение космических лучей с помощью ракет и спутников в СССР // Тр. II Междунар. конф. по мирному использованию атом. энергии (Женева 1958). М.: Атомиздат. 1959. Т. I. С. 267–271.
- Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Иваненко И.П. и др.* Возможный механизм создания земного корпускулярного излучения под действием космических лучей // Докл. АН СССР. 1959. Т. 124. С. 1022–1025.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В., Логачев Ю.И.* Изучение земного корпускулярного излучения и космических лучей при полете космической ракеты // Докл. АН СССР. 1959. Т. 125. С. 304–307.
- Vernov S.N., Chudakov A.E., Gorchakov E.V. et al.* Study of the cosmic-ray soft component by the 3rd Soviet Earth satellite // Planet. and Space Sci. 1959. V. 1. P. 86–93.
- Вернов С.Н., Горюнов Н.Н., Зацетин Г.Т. и др.* Исследование ствола широкого атмосферного ливня // ЖЭТФ. 1959. Т. 36. С. 669–681.
- Вернов С.Н., Бабецки Я.С., Горюнов Н.Н. и др.* О структуре ствола и центральных областей широких атмосферных ливней на уровне моря // ЖЭТФ. 1959. Т. 36. С. 976–984.
- Вернов С.Н., Горчаков Е.В., Иваненко И.П., Христиансен Г.Б.* О развитии ядерно-активной компоненты широких атмосферных ливней // ЖЭТФ. 1959. Т. 36. С. 1233–1239.
- Вернов С.Н., Куликов Г.В., Стругальский Э.С., Христиансен Г.Б.* О микроструктуре ствола широкого атмосферного ливня // ЖЭТФ. 1959. Т. 37. С. 1193–1196.
- Вернов С.Н., Хренов Б.А., Христиансен Г.Б.* Изучение потоков μ -мезонов высокой энергии в составе широкого атмосферного ливня // ЖЭТФ. 1959. Т. 37. С. 1252–1265.
- Вернов С.Н., Дмитриев В.А., Соловьева В.И., Христиансен Г.Б.* Энергия электронно-фотонной компоненты широких атмосферных ливней // ЖЭТФ. 1959. Т. 37. С. 1481–1482.

1960

- Вернов С.Н.* Космические лучи и космическое пространство // Вестн. АН СССР. 1960. № 8. С. 10–26.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е.* Исследование космических лучей и земного корпускулярного излучения при полетах ракет и спутников // Успехи физ. наук. 1960. Т. 70. С. 585–619.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др.* Измерения радиации при полете второй космической ракеты // Докл. АН СССР. 1960. Т. 130. С. 517–520.

- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Горюнов Н.Н. и др.* Общее описание установки для изучения широких атмосферных ливней и предварительные результаты, полученные на ней // Тр. Междунар. конф. по космич. лучам (июль 1959 г.). М.: Изд-во АН СССР. 1960. Т. 2. С. 5–16.
- Вернов С.Н., Горюнов Н.Н., Дмитриев В.А. и др.* Изучение функции пространственного распределения заряженных частиц и плотности потока энергии электронно-фотонной компоненты в широком атмосферном ливне М.: Изд-во АН СССР. 1960. Т. 2. С. 117–122.
- Вернов С.Н., Горюнов Н.Н., Дмитриев В.А. и др.* Изучение ядерноактивной компоненты высокой энергии в широких атмосферных ливнях на уровне моря М.: Изд-во АН СССР. 1960. Т. 2. С. 123–131.
- Вернов С.Н., Тулунов В.И., Хренов Б.А., Христиансен Г.Б.* Изучение потоков μ -мезонов высокой энергии в составе широких атмосферных ливней М.: Изд-во АН СССР. 1960. Т. 2. С. 169–180.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е.* Исследование излучения в космическом пространстве М.: Изд-во АН СССР. 1960. Т. 3. С. 17–32.
- Вернов С.Н., Самосудов Б.Е., Тулинов А.Ф. и др.* Исследование вариаций интенсивности космического излучения в стратосфере М.: Изд-во АН СССР. 1960. Т. 4. С. 49–60.
- Вернов С.Н., Горюнов Н.Н., Дмитриев В.А. и др.* О функции пространственного распределения потока заряженных частиц в индивидуальном широком атмосферном ливне // ЖЭТФ. 1960. Т. 38. С. 297–298.
- Вернов С.Н., Иваненко И.П., Куликов Г.В., Христиансен Г.Б.* О природе пучков частиц в стволе широкого атмосферного ливня // ЖЭТФ. 1960. Т. 39. С. 509–512.
- Vernov S.N., Chudakov A.E., Vakulov P.V., Logachev Yu.I.* Radiation measurements during the flight of the second Soviet space rocket // Proc. First Intern. Space Sci. Symp. Amsterdam: North-Holland. 1960. P. 845–851. (Space Res.).

1961

- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др.* Измерение радиации при полете третьей космической ракеты // Докл. АН СССР. 1961. Т. 136. С. 322–324.
- Вернов С.Н., Савенко И.А., Шаврин П.И. и др.* Внешний радиационный пояс Земли на высоте 320 км // Докл. АН СССР. 1961. Т. 140. С. 787–790.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др.* Измерения излучения во внешнем радиационном поясе 12 февраля 1961 г. при полете ракеты в сторону Венеры // Геомагнетизм и аэрономия. 1961. Т. 1. С. 872–874.
- Вернов С.Н., Соловьева В.И., Хренов Б.А., Христиансен Г.Б.* О флуктуациях потока μ -мезонов широких атмосферных ливней // ЖЭТФ. 1961. Т. 41. С. 340–353.
- Вернов С.Н., Савенко И.А., Писаренко Н.Ф., Шаврин П.И.* Обнаружение внутреннего радиационного пояса на высоте 320 км в районе Южно-Атлантической аномалии // Докл. АН СССР. 1961. Т. 140. С. 1041. – То же // Искусственные спутники Земли. М. 1961. Вып. 10. С. 40; 1962. Вып. 9. С. 361.

1962

- Vernov S.N., Khristiansen G.B., Atrashkevich V.B. et al.* Primary cosmic-ray component in super-high-energy region // J. Phys. Soc. Jap. Suppl. A-III. 1962. V. 17. P. 118–121.
- Vernov S.N., Gorchakov E.V., Logachev Yu.I. et al.* Investigations of radiation during flights of satellites, space vehicles and rockets // J. Phys. Soc. Jap. Suppl. A-III. 1962. V. 17. P. 162–187.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Беляева И.Ф. и др.* Первичная компонента космического излучения в области сверхвысоких энергий и некоторые особенности ее взаимодействия с ядрами атомов воздуха // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1962. Т. 26. С. 651–657.
- Вернов С.Н., Дмитриев В.А., Христиансен Г.Б., Гулям Садык Мухиби* Изучение спектра μ -мезонов высоких энергий на глубине 40 м водного эквивалента // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1962. Т. 26. С. 661–667.

- Вакулов П.В., Вернов С.Н., Горчаков Е.В. и др. Исследование излучений при полетах спутников, космических кораблей и ракет // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1962. Т. 26. С. 758–780.
- Вернов С.Н., Ли Дон Хва, Хренов Б.А., Христиансен Г.Б. О пучках μ -мезонов в составе широких атмосферных ливней // ЖЭТФ. 1962. Т. 42. С. 758–769.
- Вернов С.Н., Савенко И.А., Писаренко Н.Ф. и др. Радиационные пояса Земли на высотах 180–250 км // Искусственные спутники Земли. М. 1962. Вып. 13. С. 67. То же // Геомагнетизм и аэронавигация. 1962. Т. 2. С. 41.

1963

- Вернов С.Н., Савенко И.А., Шаврин П.И., Тверская Л.В. О структуре радиационных поясов Земли на высоте 320 км // Геомагнетизм и аэронавигация. 1963. Т. 3. С. 812–815.
- Vernov S.N., Gorchakov E.V., Logachev Yu.I. et al. Investigation of radiation during flights of satellites, space vehicles and rockets // Proc. Third Intern. Space Sci. Symp. Wash. 1962. Amsterdam: North-Holland. 1963. P. 418–431. (Space Res. № 3).
- Vernov S.N., Chudakov A.E. Terrestrial corpuscular radiation and cosmic rays // Proc. First Intern. Space Sci. Symp. Amsterdam: North-Holland. 1963. P. 418–431. (Space Res. № 3).
- Вернов С.Н., Нестеров В.Е., Писаренко Н.Ф. и др. Исследование космического излучения на космических кораблях // Proc. 12th Intern. Astronaut. Congr. N.Y.: Acad. Press. 1963. P. 855–863.

1964

- Вернов С.Н., Савенко И.А., Шаврин П.И. и др. Некоторые результаты радиометрических измерений на высоте 200–400 км в течение 1960–1963 гг. // Космич. исслед. 1964. Т. 2. С. 136–146.
- Басилова Р.Н., Вернов С.Н., Нестеров В.Е. и др. Исследование космического излучения на высотах 200–350 км на спутниках «Космос-4» и «Космос-7» // Космич. исслед. 1964. Т. 2. С. 280–283.
- Вернов С.Н., Ерофеева В.Н., Нестеров В.Е. и др. Географическое положение максимумов интенсивности частиц во внешнем радиационном поясе на малых высотах // Космич. исслед. 1964. Т. 2. С. 289–295.
- Вернов С.Н., Нестеров В.Е., Савенко И.А. и др. Географическое распределение интенсивности радиации в районе Бразильской магнитной аномалии на высоте около 300 км // Космич. исслед. 1964. Т. 2. С. 485–491.
- Вернов С.Н., Нестеров В.Е., Писаренко Н.Ф. и др. Исследование радиационных поясов Земли в районе Бразильской магнитной аномалии на высотах 235–345 км // Космич. исслед. 1964. Т. 2. С. 492–497.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др. Исследование излучений при полете межпланетных автоматических станций «Марс-1» и «Луна-4» // Космич. исслед. 1964. Т. 2. С. 633–640.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Абросимов А.Т. и др. Новые данные по изучению широких атмосферных ливней при помощи комплексной установки // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1964. Т. 28. С. 1886–1893.
- Вернов С.Н., Савенко И.А., Шаврин П.И. и др. Изучение космических лучей на больших высотах // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1964. Т. 28. С. 2045–2048.
- Вернов С.Н., Савенко И.А., Шаврин П.И. и др. Некоторые данные о радиационных поясах Земли, полученные при полетах спутников "Космос" на высотах 200–400 км // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1964. Т. 28. С. 2049–2057.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др. Исследования радиации на искусственном спутнике Земли «Космос-17» // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1964. Т. 28. С. 2058–2074.
- Вернов С.Н., Вакулов П.В., Горчаков Е.В. Исследование космических лучей // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1964. Т. 28. С. 2075–2086.

Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Абросимов А.Т. и др. Описание модернизированной комплексной установки для изучения широких атмосферных ливней // Изв.АН СССР. Сер. физ. 1964. Т. 28. С. 2087–2092.

Vakulov P.V., Vernov S.N., Gorchakov E.V. et al. Investigation of cosmic rays // Proc. Fourth Intern. Space Sci. Symp. Amsterdam: North-Holland. 1964. P. 52–62. (Space Res. № 4).

Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Абросимов А.Т. и др. Исследование μ -мезонной компоненты с помощью комплексной установки МГУ // Nucleonika. 1964. V. 9. P. 355–363.

Вернов С.Н., Скуридин Г.А., Логачев Ю.И. Космическая система «Электрон» // Civ. masch. 1964. V. 12. № 3. P. 55–60.

Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Горчаков Е.В. и др. Радиационные пояса Земли // Геофиз. Бюл. Междувед. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР. 1964. № 14. С. 96–109.

1965

Вернов С.Н. Состояние и перспективы изучения радиационных поясов Земли // Исследования космического пространства М. 1965. С. 277–284.

Вернов С.Н., Мельников В.В., Савенко И.А. и др. Регистрация заряженных частиц с энергией 0,1–10 кэВ электростатическим сферическим анализатором // Исследования космического пространства М. 1965. С. 381–387.

Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др. Результаты исследования геометрического расположения и состава частиц радиационных поясов Земли по данным спутников «Электрон-1» и «Электрон-2» // Исследования космического пространства М. 1965. С. 394–405.

Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др. Нерегулярные потоки электронов высоких энергий вблизи границы радиационных поясов Земли // Исследования космического пространства М. 1965. С. 425–433.

Вернов С.Н., Нестеров В.Е., Писаренко Н.Ф. и др. Исследование внешнего радиационного пояса Земли на малых высотах при полетах кораблей-спутников и ИСЗ «Космос» с 1960 по 1963 гг // Исследования космического пространства. М. 1965. С. 434–448.

Вернов С.Н., Савенко И.А., Тельцов М.В., Шаврин П.И. Некоторые результаты измерений во внешнем радиационном поясе на спутнике «Космос-41» // Исследования космического пространства. М. 1965. С. 460–464.

Вернов С.Н., Лазутин Л.Л., Чарахчян А.Н., Чарахчян Т.Н. Внешний радиационный пояс Земли и всплески рентгеновского излучения в стратосфере // Исследования космического пространства. М. 1965. С. 454–460.

Вернов С.Н., Вакулов П.В., Зацепин В.И. и др. Исследования первичного космического излучения на спутниках «Электрон-2» и «Электрон-4» // Исследования космического пространства М. 1965. С. 502–506; Proc. Sixth Intern. Space Sci. Symp. Wash. L. 1966. P. 971–977. (Space Res. № 6).

Вернов С.Н., Колосов Е.В., Чарахчян Т.Н., Чарахчян А.Н. Вековые измерения интенсивности космических лучей в стратосфере в период 1962–1964 гг. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1965. Т. 28. С. 1902–1905.

Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Абросимов А.Т. и др. Исследование флуктуаций в развитии широких атмосферных ливней с фиксированным полным числом заряженных частиц и фиксированным числом мюонов // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1965. Т. 29. С. 1676–1681.

Вернов С.Н., Хренов Б.А., Христиансен Г.Б. Структура центральной части и ствола мюонного ливня на глубине 40 м в.э. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1965. Т. 29. С. 1682–1685.

Вернов С.Н., Егоров Т.А., Ефимов Н.Н. и др. Проект большой установки широких атмосферных ливней в Якутске // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1965. Т. 29. С. 1690–1692.

Вернов С.Н., Мельников В.В., Савенко И.А. и др. Исследование заряженных частиц малых энергий на спутниках «Космос-12» и «Электрон-2» // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1965. Т. 29. С. 1794–1799.

- Вернов С.Н., Чарахчян А.Н., Бабарыкин В.К. и др. Измерение интенсивности космических лучей в стратосфере над Антарктидой // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1965. Т. 29. С. 1805–1806.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Абросимов А.Т. и др. Первичное космическое излучение сверхвысокой энергии по данным о широких атмосферных ливнях // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1965. Т. 29. С. 1876–1880.
- Вернов С.Н., Савенко И.А., Тельцов М.В., Шаврин П.И. Измерение протонов с энергией 0,4–8 МэВ на спутнике «Космос-41» // Геомагнетизм и аэронавигация. 1965. Т. 5. С. 645–648.
- Vernov S.N., Savenko I.A., Shavrin P.I. et al. A study of cosmic rays at altitudes of 200 to 400 km // Proc. Fifth Intern. Space Sci. Symp. Amsterdam: North-Holland. 1965. P. 575–582. (Space Res. No. 5).
- Vernov S.N., Gorchakov E.V., Kuznetsov S.N. et al. Earth's radiation belts // Proc. Ninth Intern. Conf. Cosmic Rays. L. 1965. V. 1. P. 40–49.
- Vernov S.N., Gorchakov E.V., Maduev V.L., Chudakov A.E. The corpuscular ionizing radiation in space in the immediate vicinity of the Earth // Proc. Ninth Intern. Conf. Cosmic Rays. L. 1965. V. 1. P. 303–305.
- Vernov S.N., Charakhchyan A.N., Babarykin V.K. et al. Cosmic ray intensities in the stratosphere over Antarktika and Murmansk // Proc. Ninth Intern. Conf. Cosmic Rays. L. 1965. V. 1. P. 517–519.
- Vernov S.N., Melnikov V.V., Savenko I.A., Savin B.I. Low-energy particle fluxes inside the magnetosphere from the data of the electrostatic analysers of the Electron-2 satellite // Proc. Ninth Intern. Conf. Cosmic Rays. L. 1965. V. 1. P. 529–531.
- Vernov S.V., Savenko I.A., Teltsov M.V., Shavrin P.I. Coulomb interaction of electrons with energy 1 MeV in the region of a magnetic anomaly // Proc. Ninth Intern. Conf. Cosmic Rays. L. 1965. V. 1. P. 532–544.
- Vernov S.N., Nechin Yu.A., Stoyanova D.A. et al. Structure of the central part and the core of a muon shower at a depth of 40 m w.e // Proc. Ninth Intern. Conf. Cosmic Rays. L. 1965. V. 1. P. 624–626.
- Vernov S.N., Khristiansen G.B., Abrosimov A.T. et al. Study of the extensive air showers with fixed mu-meson number and with fixed electron number // Proc. Ninth Intern. Conf. Cosmic Rays. L. 1965. V. 1. V. 2. P. 769–771.
- Vernov S.N., Nechin Yu.A., Vedenev O.V. et al. Underground investigation of the penetrating component of high energy cosmic radiation // Proc. Ninth Intern. Conf. Cosmic Rays. L. 1965. V. 1. P. 953–955.
- Вернов С.Н., Савенко И.А., Тверская Л.В. и др. Об интенсивности электронов радиационных поясов на высотах 180–330 км в районах, сопряженных с отрицательными геомагнитными аномалиями // Космич. исслед. 1965. Т. 3. С. 128–134.
- Вернов С.Н., Беляева И.Ф., Веденев О.В. и др. О флуктуациях потоков энергии ядерноактивной и электронно-фотонной компонент широкого атмосферного ливня // Ядер. физика. 1965. Т. 2. С. 1075–1086.
- Вернов С.Н., Соловьева В.И., Хренов Б.А., Христиансен Г.Б. Первичное космическое излучение в области сверхвысоких энергий и широкие атмосферные ливни // Космические лучи и проблемы космофизики. Новосибирск. СО АН СССР. 1965. С. 103–110.
- Vernov S.N., Nesterov V.E., Savenko I.A. et al. Discovery and investigation of the Brazil anomaly from the spaceships and "Cosmos" series of satellites // Proc. Fifth. Intern. Space Sci. Symp. Buenos Aires. 1965. P. 345–350. (Space Res. № 5).
- Vernov S.N., Savenko I.A., Tverskaya L.B. et al. On the asymmetry of the intensity of fast electrons in conjugate points at low altitudes // Proc. Fifth. Intern. Space Sci. Symp. Buenos Aires. 1965. P. 392–398. (Space Res. № 5).
- Vernov S.N., Chudakov A.E., Vakulov P.V. et al. Preliminary results of study of radiation carried out on board the Cosmos-17 satellite // Proc. Fifth. Intern. Space Sci. Symp. Buenos Aires. 1965. P. 404–422. (Space Res. № 5).

1966

- Вернов С.Н., Вакулов П.В., Горчаков Е.В. и др.* Измерение интенсивности проникающего излучения на поверхности Луны // Докл. АН СССР. 1966. Т. 169. С. 1044–1047; Moon and Planets. Amsterdam. 1967. P. 83–87.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др.* Вариации космических лучей по данным станций «Зонд-3» и «Венера-2» // Докл. АН СССР. 1966. Т. 171. С. 583–586.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др.* Измерения при полете станций «Венера-2», «Венера-3» и «Зонд-3» протонов солнечного происхождения с энергией 1–5 МэВ // Докл. АН СССР. 1966. Т. 171. С. 847–850.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Нечин Ю.А. и др.* Группы частиц на глубине 40 м в.э. в составе широкого атмосферного ливня // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1966. Т. 30. С. 1694–1696.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Абросимов А.Т. и др.* Феноменологические характеристики широких атмосферных ливней с фиксированным числом μ -мезонов и электронов // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1966. Т. 30. С. 1685–1689.
- Vernov S.N., Nesterov V.E., Savenko I.A. et al.* Discovery and investigation of the Brazil anomaly by space ships and "Cosmos" series of satellites // Proc. Sixth Intern. Space Sci. Symp. Wash. L. 1966. P. 165–175.
- Vernov S.N., Savenko I.A., Teltsov M.V., Shavrin P.I.* Measurements of low energy protons from Cosmos-41 satellite // Proc. Sixth Intern. Space Sci. Symp. Wash. L. 1966. P. 734–745.
- Vernov S.N., Melnikov V.V., Savenko I.A., Savin B.I.* Measurements of low-energy particle fluxes from the Cosmos and Electron satellites // Proc. Sixth Intern. Space Sci. Symp. Wash. L. 1966. P. 746–756. (Space Res. № 6).
- Vernov S.N., Chudakov A.E., Vakulov P.V. et al.* Time variations of the intensity in the outer belt near its boundary deduced from Electron-1 and Electron-2 data // Proc. Sixth Intern. Space Sci. Symp. Wash. L. 1966. P. 810–828. (Space Res. № 6).
- Vernov S.N., Chudakov A.E., Vakulov P.V. et al.* Results of investigations of geometrical position and of composition of the Earth's radiation belt particles according to Electron-1 and Electron-2 Data // Proc. Sixth Intern. Space Sci. Symp. Wash. L. 1966. P. 829–846. (Space Res. № 6).
- Вернов С.Н., Дриацкий В.М., Кузнецов С.Н. и др.* Поведение радиационных поясов и аномальное поглощение космического радиопшума в зоне полярных сияний во время магнитных бурь 12–14 февраля и 20–21 февраля 1964 года // Геомагнетизм и аэронавигация. 1966. Т. 6. С. 3–10.
- Вернов С.Н., Савенко И.А., Тельцов М.В., Шаврин П.И.* Об интенсивности протонов и электронов во внешнем радиационном поясе в период 1961–1964 гг. // Геомагнетизм и аэронавигация. 1966. Т. 6. С. 658–660.
- Вернов С.Н., Савенко И.А., Тельцов М.В., Шаврин П.И.* Наблюдение диффузионной волны релятивистских электронов во внешнем радиационном поясе // Геомагнетизм и аэронавигация. 1966. Т. 6. С. 661–663.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Абросимов А.Т. и др.* Некоторые характеристики ядерного взаимодействия при сверхвысоких энергиях // Тр. XII Междунар. конф. по физике высоких энергий (Дубна 5–15 августа 1964 г.). М.: Атомиздат. 1966. Т. 1. С. 167–169.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Нечин Ю.А. и др.* Новые явления, создаваемые космическим излучением высокой и сверхвысокой энергии под землей // Вопросы физики элементарных частиц. Ереван: АН АрмССР. 1966. Т. 5. С. 591–608.

1967

- Вернов С.Н., Горчаков Е.В., Игнатьев П.П., Николаев А.Г.* Исследование космических лучей на спутнике «Космос-53» // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1967. Т. 31. С. 1250–1251.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др.* 11-летний ход интенсивности космических лучей вне магнитосферы Земли // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1967. Т. 31. С. 1255–1258.

- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др. Вариации космических лучей в различных областях межпланетного пространства по данным станций «Зонд-3» и «Венера-2» // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1967. Т. 31. С. 1259–1261.
- Вернов С.Н., Нечин Ю.А., Хренов Б.А., Христиансен Г.Б. Новые данные о группах частиц на глубине 40 м в.э. под землей // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1967. Т. 31. С. 1520–1522.
- Вернов С.Н., Хренов Б.А., Христиансен Г.Б. Поиски нейтральных частиц на глубине 40 м водного эквивалента под землей // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1967. Т. 31. С. 1523–1525.
- Вернов С.Н., Веденеев О.В., Нечин Ю.А. и др. Исследование проникающей компоненты космического излучения высокой энергии на глубинах 20 м в.э. под землей // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1967. Т. 31. С. 1555–1557.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др. Измерения при полете станций «Венера-2», «Венера-3» и «Зонд-3» протонов солнечного происхождения с энергией 1–5 МэВ // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1967. Т. 31. С. 1296–1299; // Докл. АН СССР. 1966. Т. 171. С. 847–850.
- Vernov S.N., Vakulov P.V., Kuznetsov S.N. et al. The structure of the Earth's proton radiation belts according to the data of the Electron series of satellites. // Proc. Seventh Intern. Space Sci. Symp. Amsterdam: North-Holland. 1967. P. 577–585. (Space Res. № 7).
- Vernov S.N., Vakulov P.V., Kuznetsov S.N. et al. Measurements of the cosmic ray intensity during the flight of the Zond-3 automatic space probe // Proc. Seventh Intern. Space Sci. Symp. Amsterdam: North-Holland. 1967. P. 1325–1346. (Space Res. № 7).
- Вернов С.Н., Вакулов П.В., Кузнецов С.Н. Граница внешнего радиационного пояса и зона неустойчивости радиации // Геомагнетизм и аэронавигация. 1967. Т. 7. С. 417–422.
- Vernov S.N., Chudakov A.E., Vakulov P.V. et al. Cosmic-ray studies in interplanetary space and on the Moon // Space Flight. 1967. V. 9. P. 168–175.
- Vernov S.N., Gorchakov E.V., Shavrin P.I., Sharvina R.N. Radiation belts in the region of the South-Atlantic anomaly // Space Sci. Rev. 1967. V. 7. P. 490–533.
- Vernov S.N., Khristiansen G.B. The investigation of the extensive air showers at sea level // Tenth Intern. Conf. Cosmic Rays. Part A: Invited and rapporteur papers. Calgary. 1967. P. 345–396.
- Вернов С.Н., Абросимов А.Т., Воловик В.Д. и др. Радиоизлучение широких атмосферных ливней (ШАЛ) космических лучей // Письма в ЖЭТФ. 1967. Т. 5. С. 157–162.

1968

- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др. Исследование космических лучей при полетах автоматических межпланетных станций // Тр. 5-й Всесоюз. ежегодной зимней шк. по космофизике. Апатиты. 1968. С. 5–22.
- Вернов С.Н., Кузнецов С.Н., Логачев Ю.И. и др. Вариации внешнего радиационного пояса во время магнитных возмущений // Тр. 5-й Всесоюз. ежегодной зимней шк. по космофизике. Апатиты. 1968. С. 23–29.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Абросимов А.Т. и др. Изучение структуры широких атмосферных ливней на уровне моря с помощью модернизированной системы годоскопов в составе комплексной установки МГУ // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1968. Т. 32. С. 458–462.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Залюбовский И.М. и др. Наблюдение радиоизлучения широких атмосферных ливней на комплексной установке МГУ при помощи системы полувольтовых вибраторов // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1968. Т. 32. С. 467–469.
- Вернов С.Н., Веденеев О.В., Гулям Садык Мухиби и др. Исследование μ -мезонов высокой энергии в составе ШАЛ // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1968. Т. 32. С. 475–478.
- Вернов С.Н., Охлопков В.П., Чарахчян Т.Н. Модуляция галактических космических лучей в минимуме солнечной активности по измерениям на спутниках Земли // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1968. Т. 32. С. 1809–1813.
- Вернов С.Н., Дорман Л.И., Тверской Б.А. Спектр магнитных неоднородностей в межпланетном пространстве и вариации космических лучей // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1968. Т. 32. С. 1834–1837.

- Вернов С.Н., Вакулов П.В., Логачев Ю.И.* Космические лучи // Успехи СССР в исследовании космического пространства. М. 1968. С. 149–172.
- Vernov S.N., Vedeneev O.V., Kalmykov N.N. et al.* Investigation of the high-energy muons in EAS // *Canad. J. Phys.* 1968. V. 46. P. S110–S114.
- Vernov S.N., Khristiansen G.B., Abrosimov A.T. et al.* Phenomenological characteristics of EAS at sea level: EAS size, spectra and fluctuations of EAS // *Canad. J. Phys.* 1968. V. 46. P. S197–S200.
- Vernov S.N., Khristiansen G.B., Abrosimov A.T. et al.* Detection of radioemission from extensive air showers with a system of single half-wave dipoles // *Canad. J. Phys.* 1968. V. 46. P. S241–S242.
- Vernov S.N., Khrenov B.A., Khristiansen G.B.* A search for neutral particles at a depth of 20 m.w.e. underground // *Canad. J. Phys.* 1968. V. 46. P. S358–S360.
- Vernov S.N., Gorchakov E.V., Logachev Yu.I. et al.* Energetic solar particle propagation and the structure of interplanetary space // *Canad. J. Phys.* 1968. V. 46. P. S812–S818.
- Vernov S.N., Charakhchyan A. N., Charakhchyan T.N., Stozhkov Yu.I.* Results of simultaneous cosmic ray intensity measurements in Antarctic and Arctic regions // *Canad. J. Phys.* 1968. V. 46. P. S823–S824.
- Вернов С.Н., Кузнецов С.Н., Логачев Ю.И. и др.* Радиальная диффузия электронов с энергией больше 100 кэВ во внешнем радиационном поясе // Геомагнетизм и аэрономия. 1968. Т. 8. С. 401–411; // *Proc. Eighth Intern. Space Sci. Symp.* Amsterdam: North-Holland. 1968. P. 120–135. (Space Res. № 8).
- Вернов С.Н., Вакулов П.В., Логачев Ю.И.* Радиационные пояса Земли // Успехи СССР в исследовании космического пространства. М. 1968. С. 106–148.
- Вернов С.Н., Абросимов А.Т., Веденеев О.В. и др.* Новая возможность исследования прямой генерации мюонов. // Препр. НИИЯФ МГУ. М. 1969. 6 с.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Веденеев О.В. и др.* Исследование проникающей компоненты космического излучения на глубинах 20 и 40 м в.э. под землей // Тр. Всесоюз. конф. по физике космич. лучей. Ташкент. 1968. Вып. 2. Ч. 1. С. 45–49.
- Вернов С.Н., Хренов Б.А., Христиансен Г.Б.* Группы мюонов в составе широких атмосферных ливней // Тр. Всесоюз. конф. по физике космич. лучей. Ташкент. 1968. Вып. 2. Ч. 1. С. 78–85.
- Вернов С.Н., Егоров Т.А., Ефимов Н.Н. и др.* Логическая схема регистрации широких атмосферных ливней на установке ШАЛ в Якутске // Тр. Всесоюз. конф. по физике космич. лучей. Ташкент. 1968. Вып. 3. Ч. 1. С. 60–65.
- Вернов С.Н., Коломеец Е.В., Охлопков В.П.* Энергетические спектры форбуш-понижений в области малых энергий в период 1964–1966 гг. // Тр. Всесоюз. конф. по физике космич. лучей. Ташкент. 1968. Вып. 3. Ч. 2. С. 93–96.

1969

- Vernov S.N.* The Earth's radiation belts // *Proc. 11th Intern. Conf. Cosmic Rays. Invited and rapporteur papers.* Budapest. 1969. P. 85–162.
- Vernov S.N., Khristiansen G.B., Vedeneev O.V. et al.* Investigation on the electron, nuclear-active and muon components of extensive air showers // *Proc. 11th Intern. Conf. Cosmic Rays.* Budapest. 1969. V. 3. P. 429–434.
- Vernov S.N., Khrenov B.A., Khristiansen G.B.* High energy muons in extensive air showers // *Proc. 11th Intern. Conf. Cosmic Rays.* Budapest. 1969. V. 3. P. 627–632.
- Vernov S.N., Khristiansen G.B., Abrosimov A.T. et al.* Study of radio emission from extensive air showers by means of a system of half-wave dipoles in the complex array of the Moscow State University // *Proc. 11th Intern. Conf. Cosmic Rays.* Budapest. 1969. V. 3. P. 731–736.
- Вернов С.Н., Горчаков Е.В., Гецелев И.В. и др.* Результаты измерений быстрых заряженных частиц на спутнике «Космос-137» // Космич. исслед. 1969. Т. 7, № 2. С. 273–278. То же // Тр. Всесоюз. конф. по физике космич. лучей. Ташкент. 1969. Т. 2. вып. 1. С. 23–26.

- Vernov S.N., Gorchakov E. V., Kuznetsov S.N. et al.* Particle fluxes in the outer geomagnetic field // *Rev. Geophys.* 1969. V. 7. P. 257–281.
- Вернов С.Н., Горчаков Е.В., Тимофеев Г.А.* О распространении протонов с энергией 1–5 МэВ, генерированных во время солнечных вспышек // *Геомагнетизм и аэронавигация.* 1969. Т. 9. С. 961–967.
- Вернов С.Н., Грингауз К.И., Жулин И.А.* Физика магнитосферы Земли // *Вестн. АН СССР.* 1969. № 3. С. 96–100.
- Вернов С.Н., Контор Н.Н., Кузнецов С.Н. и др.* Наблюдение вспышек солнечных космических лучей и форбуш-понижений галактических космических лучей в космическом пространстве // *Материалы Междунар. симпоз. по солнечно-земной физике.* Краков. 1968. М. 1969. С. 85–97.
- Вернов С.Н., Кузьмин А.И., Шафер Ю.Г. и др.* Нейтронный супермонитор НМ-64, его установка и эксплуатация с использованием ЭЦВМ «Сетунь» // *Космич. лучи.* 1969. № 11. С. 158–159.
- Вернов С.Н., Логачев Ю.И., Любимов Г.П., Переслегина Н.В.* Вариации галактических космических лучей и квазистационарные потоки солнечной плазмы в космическом пространстве // *Материалы Междунар. симпоз. по солнечно-земной физике.* Крым. астрофиз. обсерватория. 1968. М. 1969. С. 81–84.
- Вернов С.Н., Логачев Ю.И., Любимов Г.П., Переслегина Н.В.* Замечание о радиальном градиенте космических лучей // *Материалы Междунар. симпоз. по солнечно-земной физике.* Крым. астрофиз. обсерватория. 1968. М. 1969. С. 124–126.
- Вернов С.Н., Любимов Г.П., Переслегина Н.В.* Структура межпланетного пространства по наблюдениям космических лучей малой энергии в 1965–67 гг. // *Тр. 6-й Всесоюз. ежегодной зимней шк. по космофизике.* Апатиты. 1969. Ч. 1. С. 173–180.
- Вернов С.Н., Горчаков Е.В., Тимофеев Г.А.* Распространение солнечных протонов с энергией около 1 МэВ в межпланетном пространстве // *Тр. 6-й Всесоюз. ежегодной зимней шк. по космофизике.* Апатиты. 1969. Ч. 1. С. 181–184.
- Вернов С.Н., Сенчуро И.Н., Тельцов М.В., Шаврин П.И.* Измерение солнечных протонов на спутнике «Молния-Г» 25 мая 1967 года // *Геомагнетизм и аэронавигация.* 1969. Т. 9. С. 968–971.
- Вернов С.Н., Хренов Б.А., Христиансен Г.Б.* Мюоны высокой энергии в составе ШАЛ. // *Препр. НИИЯФ МГУ.* М. 1969. 15 с. На англ. яз.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др.* Распространение солнечных и галактических космических лучей малых энергий в межпланетной среде. // *Препр. МГУ.* М. 1969. 21 с. На англ. яз.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др.* Изучение космических лучей малых энергий в межпланетном пространстве // *Тр. Междунар. семинара по изучению физики межпланет. пространства с помощью космич. лучей.* Л. 1969. С. 29–42.
- Vernov S.N.* The Earth's radiation belts // *Ann. IQSY.* 1969. V. 4. P. 281–301.
- Vernov S.N., Chudakov A.E., Vakulov P.V. et al.* A study of solar and cosmic radiation from the Venus-4 space probe // *Proc. 9th Intern. Space Sci. Symp.* Amsterdam: North-Holland. 1969. P. 203–214. (*Space Res.* № 9).

1970

- Вернов С.Н., Ильина Н.П., Хренов Б.А. и др.* Мюоны высоких энергий в составе широких атмосферных ливней // *Изв. АН СССР. Сер. физ.* 1970. Т. 34. С. 1968–1973.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Абросимов А.Т. и др.* Исследование широких атмосферных ливней на комплексной установке МГУ. Пространственное распределение радиоизлучения и его поляризации // *Изв. АН СССР. Сер. физ.* 1970. Т. 34. С. 1993–1999.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Веденеев О.В. и др.* Феноменологические характеристики широких атмосферных ливней на уровне моря // *Изв. АН СССР. Сер. физ.* 1970. Т. 34. С. 2000–2002.

- Вернов С.Н., Иванова Т.А., Сосновец Э.М. и др.* Инжекция энергетических электронов во внутренние области магнитосферы во время магнитной бури 29.X–4.XI. 1968 г. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1970. Т. 34. С. 2270–2274.
- Вернов С.Н., Вакулов П.В., Кузнецов С.Н. и др.* Исследование космических лучей и радиационных поясов на вертикальном космическом зонде // Космич. исслед. 1970. Т. 8. С. 408.
- Вернов С.Н., Кузнецов С.М., Лопатина Г.Б., Столповский В.Г.* Связь вариаций интенсивности электронов внешнего пояса с индексами геомагнитной активности // Геомагнетизм и аэрономия. 1970. Т. 10. С. 214–220.
- Vernov S.N., Abrosimov A.T., Vedenev O.V. et al.* Results and prospects of investigation of high energy muons produced by cosmic rays // Acta Phys. Hung. Suppl. III. 1970. V. 29. P. 41–46.
- Vernov S.N., Chudakov A.E., Vakulov P.V. et al.* Propagation of solar and galactic cosmic rays of low energies in interplanetary medium // Acta Phys. Hung. Suppl. III. 1970. V. 29. P. 459–469; Proc. 3rd ESLAB/ESRIN sympos. Noordijk. Dordrecht. 1970. P. 85–120.
- Vernov S.N., Khristiansen G.B., Khrehov B.A.* The high energy muons in EAS // Acta Phys. Hung. Suppl. III. 1970. V. 29. P. 627–632.
- Vernov S.N., Khristiansen G.B., Abrosimov A.T. et al.* Study of radioemission from extensive air showers by means of the complex array of the Moscow State University // Acta Phys. Hung. Suppl. III. 1970. V. 29. P. 731–736.
- Вернов С.Н., Вакулов П.В., Горчаков Е.В. и др.* О характере распространения быстрых частиц в межпланетном пространстве на разных стадиях возрастных потоков солнечных космических лучей // Тр. Междунар. семинара по проблеме генерации космич. лучей на Солнце. Л. 1970. С. 66–74.
- Вернов С.Н., Вакулов П.В., Горчаков Е.В., Логачев Ю.И.* Радиационные пояса Земли и космические лучи. М.: Просвещение. 1970. 128 с.
- Вернов С.Н., Любимов Г.П.* Космические лучи малых энергий в межпланетном пространстве // Тр. Междунар. симпоз. по солнечно-земной физике. Л. 1970. С. 163–180.
- Вернов С.Н., Любимов Г.П., Контор Н.Н. и др.* Анализ возрастных СКЛ по измерениям на автоматических станциях «Венера-5» и «Венера-6» в январе-феврале 1969 г. М.: НИИЯФ МГУ, 1970. 35 с.

1971

- Вернов С.Н., Егоров Т. Е., Ефимов Н.Н. и др.* Предварительные результаты регистрации ШАЛ на комплексной установке в Якутске // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1971. Т. 35. С. 2096–2101.
- Вернов С.Н., Горчаков Е.В., Игнатьев П.П., Галачьев Н.Г.* Вариации потоков заряженных частиц различных энергий по данным АМС // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1971. Т. 35. С. 2418–2422.
- Вернов С.Н., Горчаков Е.В., Тимофеев Г.А.* О распространении солнечных протонов в среде с постоянным и переменным транспортным пробегом при мгновенной инжекции вблизи Солнца // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1971. Т. 35. С. 2423–2427.
- Vernov S.N., Lyubimov G.P.* Cosmic ray intensity during the initial phase of the 20th solar activity cycle decrease // Proc. 12th Intern. Conf. Cosmic Rays. Hobart. 1971. V. 5. P. 1947–1951.
- Вернов С.Н., Любимов Г.П., Чучков Е.А., Контор Н.Н.* Исследование космических лучей // Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1». М.: Наука. 1971. С. 116–125.
- Вернов С.Н., Кузнецов С.Н., Логачев Ю.И. и др.* Некоторые закономерности в корреляции индексов магнитной активности и интенсивности электронов внешнего радиационного пояса // Геомагнетизм и аэрономия. 1971. Т. 11. С. 11–17.
- Vernov S.N., Chuchkov E.A., Kontor N.N. et al.* Solar cosmic ray burst with proton energies $E_p > 30$ MeV observed aboard Venus 6. // Proc. Thirteenth Plenary Meeting of COSPAR. Berlin: Acad. Verl. 1971. V. 2. P. 1213–1228. (Space Res. № 11).

- Vernov S.N., Gorchakov E.V., Ignatiev P.P.* Interaction of galactic cosmic rays with the interplanetary magnetic field // Proc. Thirteenth Plenary Meet. COSPAR. Berlin: Acad. Verl. 1971. V. 2. P. 1247–1252. (Space Res. № 11).
- Vernov S.N., Kuznetsov S.N., Sosnovets E.N. et al.* Acceleration of electrons and protons in the magnetosphere during magnetic storms // Proc. Thirteenth Plenary Meeting of COSPAR Berlin: Acad. Verl. 1971. V. 2. P. 1253–1258. (Space Res. № 11).
- Вернов С.Н., Чарахчьян Т.Н., Стожков Ю.И., Чарахчьян А.Н.* Измерения интенсивности космических лучей в стратосфере советскими антарктическими экспедициями // Антарктика. М.: Наука. 1971. С. 5–15.

1972

- Вернов С.Н., Бородулин В.П., Панасюк М.И. и др.* Наблюдения малоэнергичных протонов в июле-августе 1970 года на спутнике «Молния-1» // Космич. исслед. 1972. Т. 10. С. 376–381.
- Вернов С.Н., Кузнецов С.Н., Логачев Ю.И. и др.* Динамика внешнего радиационного пояса в период МГСС // Космич. исслед. 1972. Т. 10. С. 545–554.
- Вернов С.Н., Вакулов П.В., Гецелев И.В. и др.* Результаты измерений интенсивности космических лучей на автоматической станции «Венера-5» // Космич. исслед. 1972. Т. 10. С. 561–568.
- Вернов С.Н., Контор Н.Н., Любимов Г.П. и др.* Вспышки солнечных космических лучей в ноябре-декабре 1070 г по данным космического зонда «Венера-7» и станции «Луноход-1» // Космич. исслед. 1972. Т. 10. С. 1535–1544.
- Вернов С.Н., Чудаков А.Е., Вакулов П.В. и др.* Измерение космических лучей и поиски радиационных поясов вблизи Венеры // Физика Луны и планет. М.: Наука. 1972. С. 397–401.
- Вернов С.Н., Контор Н.Н., Любимов Г.П. и др.* Космические лучи малых энергий // Тр. Междунар. семинара по проблеме "Ускорение частиц в космич. пространстве: (Околозем. и межпланет. космич. пространстве). Галактика и Метагалактика" (Л. 13–15 июля 1971 г.). М.: НИИЯФ. 1972. С. 193–214.
- Vernov S.N., Kovalskaya I.Ya., Panasyuk M.I. et al.* Proton radiation belt variations in July August 1970 // Proc. 14th Plenary Meet. COSPAR. Berlin: Acad. Verl. 1972. P. 1493–1497. (Space Res. № 12).
- Vernov S.N., Kontor N.N., Lyubimov G.P. et al.* Solar cosmic ray bursts in November December 1970 according to data from Venus 7 space probe and Lunokhod 1 station // Proc. 14th Plenary Meet. COSPAR. Berlin: Acad. Verl. 1972. P. 1535–1544. (Space Res. № 12).
- Вернов С.Н., Горчаков Е.В., Тимофеев Г.А.* Распространение заряженных частиц в рассеивающей среде с постоянным и переменным транспортным пробегом с учетом магнитной фокусировки // Геомагнетизм и аэрномия. 1972. Т. 12. С. 3–9.
- Вернов С.Н., Панасюк М.И., Сосновец Э.Н. и др.* Резонансное ускорение малоэнергичных протонов в радиационных поясах Земли // Геомагнетизм и аэрномия. 1972. Т. 12. С. 785–789.
- Вернов С.Н., Емельяненко С.Н., Кузнецов С.Н., Столповский В.Г.* Ускорение электронов во внешнем радиационном поясе // Геомагнетизм и аэрномия. 1972. Т. 12. С. 790–796.
- Вернов С.Н., Глушков А.В., Диминштейн О.С. и др.* Спектр мощностей ШАЛ на уровне моря при $N_e = 10^7 - 10^9$ частиц // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1972. Т. 36. С. 1705–1709.

1973

- Вернов С.Н.* Прогресс в познании физики межпланетной среды // Тез. докл. на XXIV Междунар. астронавт. конгрессе Баку. 1973. С. 423–425.
- Вернов С.Н., Ведешин Л.А.* Первые эксперименты по исследованию космических лучей на ракетах (1946–1957) // Тез. докл. на XXIV Междунар. астронавт. конгрессе Баку. 1973. С. 425–426.

- Вернов С.Н.* Вступительное слово // V. Ленинград. Междунар. семинар «Солнеч. космич. лучи и их проникновение в магнитосферу Земли». Л. 1973. С. 21–24.
- Vernov S.N., Kuznetsov S.N., Logachev Yu.I. et al.* Solar cosmic ray flare of September 1, 1971 // Proc. 13th Intern. Cosmic Ray Conf. Denver. 1973. V. 2. P. 1404–1409.
- Kerschenholz I.M., Krasilnikov D.D., Kuzmin A.I., ... Vernov S.N. et al.* The results of the first stage observations at the Yakutsk EAS complex array. I: The lateral distribution and EAS size spectrum at sea level // Proc. 13th Intern. Cosmic Ray Conf. Denver. 1973. V. 2. P. 2507–2512.
- Kozlov V.I., Krasilnikov D.D., Kuzmin A.I., ... Vernov S.N. et al.* The results of the first stage observations at the Yakutsk EAS array III: Zenith angle EAS distribution with size 108 particles at sea level and the strongly inclined events of large size // Proc. 13th Intern. Cosmic Ray Conf. Denver. 1973. V. 2. P. 2588–2591.
- Вернов С.Н., Савенко И.А., Савун О.И. и др.* Дозы радиации при длительном орбитальном полете в околоземном космическом пространстве // Космич. исслед. 1973. Т. 11. С. 321–328.
- Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Лукин О.Б. и др.* Изучение космических лучей на спутниках «Прогноз» // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1973. Т. 37. С. 1138–1143.
- Вернов С.Н., Горчаков Е.В., Кузнецов С.Н. и др.* Потоки частиц во внешнем геомагнитном поле // Физика магнитосферы. М. 1973. С. 318–344.
- Вернов С.Н., Иванова Т.А., Кузнецов С.Н. и др.* Регистрация солнечных космических лучей одновременно вблизи Венеры и в магнитосфере Земли // Геомагнетизм и аэрономия. 1973. Т. 13. С. 164–166.

1974

- Вернов С.Н., Безродных И.М., Глушков А.В. и др.* Расчеты эффективности детектора ионизационного излучения ШАЛ и параметров установки для регистрации мюонов малых энергий в составе ШАЛ // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1974. Т. 38. С. 1070–1075.
- Вернов С.Н., Тверской Б.А., Яковлев В.А. и др.* Измерение космических лучей при помощи АМС «Марс-2» // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1974. Т. 38. С. 1859–1862.
- Вернов С.Н., Тверской Б.А., Яковлева В.А. и др.* Потоки заряженных частиц в окрестности Марса // Космич. исслед. 1974. Т. 12. С. 252.
- Бано М., Вакулов П.В., Ваничек Л., Вернов С.Н. и др.* Исследование распределения потоков заряженных частиц под радиационными поясами по данным спутника «Интеркосмос-3» // Космич. исслед. 1974. Т. 12. С. 566–570.
- Александров Ю.А., Вернов С.Н., Кузнецов С.Н., Логачев Ю.И.* Наведение искусственной радиоактивности протонами внутреннего пояса Земли в защите детекторов // Космич. исслед. 1974. Т. 12. С. 731–735.
- Bano M., Dubinsky J., Fischer S., Vernov S.N. et al.* Spatial distribution of charged particles beneath the radiation belts as measured on board the satellite Intercosmos 3. // Proc. 16th Plenary Meet. COSPAR. Berlin. 1974. P. 315–319. (Space Res. № 14).
- Akishin A.I., Vernov S.N., Guzova S.K. et al.* Evaluation de l'action de l'environnement spatial sur les materiaux // Colloq. intern. CNRS. 1974. P. 591–597.
- Вернов С.Н., Чарахчян А.Н., Стожков Ю.И., Чарахчян Т.Н.* Одиннадцатилетний цикл галактических космических лучей в межпланетном пространстве: (Стратосфер. измерения) // Препр. ФИАН. № 107. М. 1974. 25 с.
- Бородин Г.А., Вернов С.Н., Геврасев В.Е. и др.* Якутская комплексная установка ШАЛ для исследования космических лучей в области энергий выше 1017эВ // Экспериментальные методы исследования космических лучей сверхвысоких энергий. Якутск. 1974. С. 9–17.
- Вернов С.Н., Диминштейн О.С., Егоров Т.А. и др.* Основные результаты первого этапа наблюдения на Якутской комплексной установке ШАЛ // Экспериментальные методы исследования космических лучей сверхвысоких энергий. Якутск. 1974. С. 77–91.

1975

- Вернов С.Н., Чарахчян А.Н., Стожков Ю.И., Чарахчян Т.Н. 11-летний цикл космических лучей и общее магнитное поле Солнца // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1975. Т. 39. С. 316–324.
- Вернов С.Н., Тверской Б.А., Любимов Г.П. и др. Вариации интенсивности космических лучей и солнечный ветер // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1975. Т. 39. С. 340–349.
- Красильников Д.Д., Егоров Т.А., Ефимов Н.Н., Вернов С.Н. и др. Анизотропия космических лучей с энергией выше 1019 эВ // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1975. Т. 39. С. 1245–1248.
- Вернов С.Н., Чарахчян А.Н., Базилевская Г.А. и др. Аномалия 11-летнего цикла космических лучей // Тр. VII Междунар. семинара «Корпускулярные потоки Солнца и радиационные пояса Земли и Юпитера». Л. 1975. С. 389–398.
- Вернов С.Н., Фейнберг Е.Л. Физика высоких энергий и космических лучей: (Перспективы исследования) // Междунар. шк.-семинар молодых ученых по актуальным пробл. физики элементар. частиц. Дубна: ОИЯИ. 1975. С. 73–96.
- Vernov S.N., Charakhchyan A.N., Stozhkov Yu.I., Charakhchyan T.N. The eleven-year cosmic ray cycle according to stratosphere measurements // Proc. 14th Intern. Cosmic Ray Conf. Munchen. 1975. V. 3. P. 1015–1019.
- Вернов С.Н., Алексеев Н.В., Вакулов П.В. и др. Некоторые результаты исследований солнечных космических лучей на станции «Марс-7» // Космич. исслед. 1975. Т. 13. С. 131–135.
- Вернов С.Н., Логачев Ю.И., Писаренко Н.Ф. Физические характеристики межпланетного пространства // Основы космической биологии и медицины. М.: Наука. 1975. Т. 1. С. 47–118.

1976

- Вернов С.Н. Предисловие. Всесоюз. конф. по физике космич. лучей // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1976. Т. 40. С. 882–885.
- Егоров Т.А., Ефимов Н.Н., Иванов А.А., Вернов С.Н. и др. Анизотропия частиц сверхвысоких энергий // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1976. Т. 40. С. 1020–1022.
- Вернов С.Н., Воробьев В.А., Захаров А.В. и др. Исследование захваченной радиации на ИСЗ «Космос-426» и динамика внешнего радиационного пояса во время магнитной бури 17 декабря 1971 г. // Космич. исслед. 1976. Т. 14. С. 305–313.
- Вернов С.Н., Волга В.И., Володин Е.Я. и др. Измерение космических лучей на АМС «Венера-9» и «Венера-10» // Космич. исслед. 1976. Т. 14. С. 857–868.
- Вернов С.Н., Контор Н.Н., Любимов Г.П. и др. Об аномальной анизотропии потока солнечных космических лучей в межпланетном пространстве // Геомагнетизм и аэрономия. 1976. Т. 16. С. 215–220.
- Вернов С.Н., Тверской Б.А., Вакулов П.В. и др. Характеристики межпланетной среды и анизотропии солнечных космических лучей // Геомагнетизм и аэрономия. 1976. Т. 16. С. 577–586.

1977

- Вернов С.Н. Вступительное слово. Материалы VIII Междунар. семинара «Активные процессы на Солнце и проблема солнечных нейтрино» // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1977. Т. 41. С. 234.
- Вернов С.Н., Добротин Н.А. 50-летие основополагающего открытия физики космическим лучей // Успехи физ. наук. 1977. Т. 123. С. 531–535.
- Vernov S.N., Khristiansen G.B., Abrosimov A.T. et al. Violation of scale invariance in hadron interactions at superhigh energies // Journ. Nucl. Phys. G. 1977. V. 3. P. 1601–1612.
- Vernov S.N., Ermakov S.I., Kontor N.N. et al. 11-year variations of the low-energy solar proton fluxes // Proc. 15th Intern. Cosmic Ray Conf. Plovdiv. 1977. V. 3. P. 133–137.
- Vernov S.N., Kontor N.N., Lyubimov G.P. et al. Proton fluxes in interplanetary space relevant to the active processes on the Sun // Proc. 15th Intern. Cosmic Ray Conf. Plovdiv. 1977. V. 3. P. 142–149.
- Vernov S.N., Lyubimov G.P., Myagchenkova O.G. et al. The cosmic ray variations inferred from the data of the Moon's satellite Luna-22 // Proc. 15th Intern. Cosmic Ray Conf. Plovdiv. 1977. V. 3. P. 294–299.

1978

- Вернов С.Н.* Второе космическое десятилетие // Успехи Советского Союза в исследовании космического пространства. М.: Наука. 1978. С. 7–12.
- Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Логачев Ю.И., Тверской Б.А.* Исследование космических лучей // Успехи Советского Союза в исследовании космического пространства. М.: Наука. 1978. С. 435–472.
- Вернов С.Н., Григоров Н.Л., Чудаков А.Е.* О некоторых особенностях взаимодействия ядер с ядрами при высоких энергиях // Ядер. физика. 1978. Т. 28. С. 1021–1024.
- Вернов С.Н., Контор Н.Н., Любимов Г.П. и др.* Форбуш-эффект в интенсивности солнечных протонов // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1978. Т. 42. С. 1026–1029.
- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Абросимов А.Т. и др.* О нарушениях скейлинга и путях модификации модели элементарного акта в области сверхвысоких энергий // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1978. Т. 42. С. 1377–1380.
- Вернов С.Н., Тверской Б.А., Бородин Н.Ф. и др.* Измерения потоков протонов и альфа-частиц на АМС «Венера-11» и «Венера-12» // Космич. исслед. 1978. Т. 17. С. 804–811.

1979

- Вернов С.Н.* Вступительное слово // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1979. Т. 42. С. 674–676.
- Вернов С.Н., Чарахчян А.Н., Базилевская Г.А. и др.* Модуляционные эффекты космических лучей в нижней атмосфере // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1979. Т. 43. С. 845–853.
- Vernov S.N., Charakhchyan T.N., Bazilevskaya G.A. et al.* Anomalies of solar activity in 1964–1965 // Proc. 16th Intern. Cosmic Ray Conf. Kyoto. 1979. V. 3. P. 385–389.
- Vernov S.N., Khristiansen G.B., Atrashkevich V.B. et al.* New EAS array at Moscow State University for studying the E.A. Showers with energies of up to 10^{18} eV // Proc. 16th Intern. Cosmic Ray Conf. Kyoto. 1979. V. 6. P. 129–134.
- Vernov S.N., Charakhchyan T.N., Charakhchyan A.N. et al.* Cosmic ray modulation effects in the lower atmosphere // Proc. 16th Intern. Cosmic Ray Conf. Kyoto. 1979. V. 6. P. 281–285.

1980

- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Богословский Г.В. и др.* Новая установка МГУ для изучения широких атмосферных ливней до 10^{18} эВ // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1980. Т. 44. С. 537–543.
- Vernov S.N., Kontor N.N., Lyubimov G.P. et al.* The spreading and modulation of galactic and solar cosmic rays in interplanetary space: Prepr. Inst. Nucl. Phys. Moscow State Univ. № 80-1433-80. Moscow. 1980. 11 p.

1981

- Вернов С.Н., Осипов Н.К., Соколов В.С. и др.* Физические характеристики среды на геостационарной орбите // Сб. статей по исследованию электрического заряда космических аппаратов на геостационарной орбите: (НИР «Электризация»). № гос. регистрации X 60910. 1981. С. 1–29.
- Vernov S.N., Kumpan I.P., Mishchenko L.G. et al.* Device for investigation of high energy primary cosmic rays // Proc. 17th Intern. Cosmic Ray Conf. Paris. 1981. V. 8. P. 49–52.
- Vernov S.N., Khristiansen G.B., Atrashkevich V.B. et al.* The first results obtained at the new EAS MSU array // Proc. 17th Intern. Cosmic Ray Conf. Paris. 1981. V. 11. P. 235–238.

1982

- Вернов С.Н., Христиансен Г.Б.* Космические лучи сверхвысоких энергии // Вестн. МГУ. Сер. физ. астр. 1982. Т. 23. С. 3–15.
- Басов Н.Г., Вернов С.Н., Вул Б.М. и др.* Д.В. Скобельцын: (К девяностолетию со дня рождения) // Успехи физ. наук. 1982. Т. 138. С. 535–536.
- Махмудов Б.М., Сироджеев Н.С., Алимов Т.А., Вернов С.Н. и др.* Самаркандская комплексная установка ШАЛ и результаты эксперимента // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1982. № 46. С. 1809–1812.

Вернов С.Н., Христиансен Г.Б., Атрашкевич В.Б. и др. Первые результаты, полученные на новой установке ШАЛ МГУ // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1982. № 46. С. 1822–1823.

Григоров Н.Л., Вернов С.Н., Вакулов П.В. и др. Прибор для изучения космических лучей высоких энергий со 100 измерительными каналами и энергопотреблением 15 Вт // Научное космическое приборостроение: Тез. докл. на III семинаре соцстран. Одесса. 1982. С. 106–107.

1983

Вернов С.Н., Тверской Б.А., Гернет Е.Д. и др. Изучение характеристик потоков на АМС «Венера-13» и «Венера-14» // Космич. исслед. 1983. Т. 21. С. 449–452.

Вернов С.Н., Вакулов П.В., Григоров Н.Л. и др. Прибор для изучения первичных частиц космических лучей высоких энергий // Науч. космич. приборостроение. Металлургия. М. 1983. Вып. 1. С. 73–76.

Vernov S.N., Vakulov P.V., Voronin V.G. et al. Device for study of chemical composition of high energy primary cosmic rays: Prepr. № 230. INPh. 1983.

Vernov S.N., Voronina E.A., Grigorian M.S. et al. On the degree of correlation between the 27-day variations in cosmic rays and in solar activity // Proc. 18th Intern. Cosmic Ray Conf. Bangalore. 1983. V. 3. P. 187–190.

Статьи в газетах и журналах

1958

Вернов С.Н., Остроумов Г.В. Новые факты из космоса // Известия. 1958. 1 авг.

1959

Вернов С.Н., Чудаков А.Е. Новое в изучении космических лучей // Правда. 1959. 6 марта.

Вернов С.Н. Земля под наблюдением исследования на высоте 100 000 км // Советская Россия. 1959. 1 июля.

Вернов С.Н. Дверь, распахнутая в неведомое // Комсомольская правда. 1959. 25 сент.

Вернов С.Н. Человек проникает в космос // Правда. 1959. 6 дек.

1960

Вернов С.Н. Космическая броня Земли // Труд. 1960. 23 апр.

Вернов С.Н. Знать тайны космоса // Комсомольская правда. 1960. 26 апр.

Вернов С.Н. Ожерелье планеты Земля // Красная звезда. 1960. 29 апр.

Вернов С.Н. Триумф разума // Правда. 1960. 18 мая.

Вернов С.Н. Мы раскрываем тайны космоса // Известия. 1960. 12 июня.

Вернов С.Н. Новое грандиозное достижение в покорении космоса // Известия. 1960. 2 авг. (Выступление на пресс-конференции в АН СССР).

Вернов С.Н., Григоров Н.Л. В глубины микромира // Правда. 1960. 31 авг.

1961

Вернов С.Н. Информация из космоса // Литературная газета. 1961. 7 февр.

Вернов С.Н. Космос сообщает // Труд. 1961. 5 апр.

Вернов С.Н. Подвиг исполина // Экономическая газета. 1961. 14 апр.

Вернов С.Н. На пороге эпохи межпланетных путешествий. // Правда. 1961. 19 июля

Вернов С.Н. Лучи из космоса // Правда Востока. 1961. 6 окт.

1962

Вернов С.Н. Посланцы космических глубин // Заря Востока. 1962. 9 янв.

Вернов С.Н. Тайны раскрываются // Советская Белоруссия. 1962. 12 апр.

Вернов С.Н. Речь на собрании трудящихся г. Москвы, посвященном 1-й годовщине полета советского человека в космос // Правда. 1962. 13 апр.

- Вернов С.Н.* Успехов тебе, конгресс // *Московская правда*. 1962. 8 июля.
Вернов С.Н. От имени 220 миллионов // *Московская правда*. 1962. 29 сент.
Вернов С.Н. Космическая пятилетка // *Комсомольская правда*. 1962. 4 окт.
Вернов С.Н. Космическая пятилетка // *Комсомольская правда*. 1962. 7 окт.
Вернов С.Н. Проблемы исследования космоса // *Коммунист*. 1962. № 14. С. 33–41.

1964

- Вернов С.Н.* Новый выдающийся эксперимент в космосе // *Известия*. 1964. 7 февр. (Выступление на пресс-конференции в АН СССР).
Вернов С.Н., Скуридин Г.А., Логачев Ю.И. Космическая система «Электрон» // *Правда*. 1964. 15 марта; *Наука и техника*, № 4.
Вернов С.Н. Властелины космоса // *Известия*. 1964. 12 апр.
Вернов С.Н. Лаборатория в космосе // *Известия*. 1964. 15 июля.
Вернов С.Н. Ядерная физика и космос // *Правда*. 1964. 13 сент.
Вернов С.Н. Научный центр на Ленинских горах // *Правда*. 1964. 13 сент.

1965

- Вернов С.Н.* Шаги в небывалое // *Известия*. 1965. 20 марта.
Вернов С.Н. Твердая решимость // *Московская правда*. 1965. 10 авг.
Вернов С.Н. За пределами земной атмосферы // *Правда*. 1965. 27 авг.

1967

- Вернов С.Н.* Важный этап в исследовании планет // *Правда*. 1967. 31 окт. (Выступление на пресс-конференции советских и иностранных журналистов).

1970

- Вернов С.Н.* Физическая лаборатория на Луне // *Московская правда*. 1970. 29 сент.
Вернов С.Н., Контор Н.Н. Служба Солнца на Селене // *Правда*. 1970. 19 нояб.

1971

- Вернов С.Н.* Гигантский ускоритель во Вселенной // *Правда Украины*. 1971. 18 июня.

1972

- Вернов С.Н.* Программа «Космос» в действии // *Правда*. 1972. 15 марта. (Выступление за круглым столом).
Вернов С.Н. Новый посланец дружбы // *Заря Востока*, 1972. 9 апр.
Вернов С.Н. Объект исследования: космические лучи // *Коммунист Таджикистана*. 1972. 3 нояб.

1975

- Вернов С.Н.* Сигналы из стратосферы // *Ленинградская правда*. 1975. 29 марта (О научном эксперименте С.Н. Вернова по исследованию космических лучей с помощью автоматических стратостатов).

1976

- Вернов С.Н., Марков М.А.* Бурная жизнь Вселенной // *Правда*. 1976. 30 марта.
Вернов С.Н., Амбарцумян В., Мирзабекян Э. Высокая миссия ученого // *Коммунист*. 1976. 16 окт.

1977

- Вернов С.Н., Теплов И.Б.* По следам частиц // *Правда*. 1977. 15 окт.

1978

- Вернов С.Н.* За порогом недоступности // *Ленинградская правда*. 1978. 28 дек.

ПРИЛОЖЕНИЕ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Абросимов Анатолий Тимофеевич (р. 1929) – к. ф.-м. н., работал в Научно-исследовательском институте ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (1954–1992), пенсионер.

Акишин Анатолий Иванович (р. 1926) – д. тех. н., профессор, гл. н. с. НИИЯФ МГУ.

Базилевская Галина Александровна (р. 1936) – д. ф.-м. н., профессор, гл. н. с. Долгопрудненской научной станции Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.

Барадзей Людмила Томашевна (1919–2002) – к. ф.-м. н., с. н. с. НИИЯФ МГУ.

Белов Анатолий Владимирович (р. 1946) – к. ф.-м. н., зав. лаб. Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН).

Вернова Елена Сергеевна (р. 1944) – к. ф.-м. н., с. н. с. Санкт-Петербургского филиала ИЗМИРАН.

Вернов Юрий Сергеевич (р. 1937) – д. ф.-м. н., вед. н. с. Института ядерных исследований РАН.

Герштейн Семен Соломонович (р. 1929) – академик, гл. н. с. Государственного научного центра Российской Федерации Института физики высоких энергий.

Гецелев Игорь Владимирович (р. 1934) – д. ф.-м. н., профессор, вед. н. с. НИИЯФ МГУ.

Горчаков Евгений Васильевич (1932–2003) – д. ф.-м. н., профессор, зав. лаб. НИИЯФ МГУ.

Григоров Наум Леонидович (1915–2005) – д. ф.-м. н., профессор, гл. н. с. НИИЯФ МГУ.

Дергачев Валентин Андреевич (р. 1937) – д. ф.-м. н., профессор, зам. директора Физико-Технического института им. А.Ф. Иоффе.

Дорман Лев Исаакович (р. 1929) – д. ф.-м. н., профессор, гл. н. с. Отдела космических лучей ИЗМИРАН (Россия); директор Израильского центра космических лучей и космической погоды и израильско-итальянской обсерватории им. Э. Сэгре Телль-Авивского Университета (Израиль).

Зеленская Наталья Семеновна (р. 1938) – д. ф.-м. н., профессор, зав. лаб. НИИЯФ МГУ.

Иванова Надежда Сергеевна (1908–1998) – д. ф.-м. н., профессор, с. н. с. Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе.

Калмыков Николай Николаевич (р. 1938) – д. ф.-м. н., профессор, зав. отделом НИИЯФ МГУ.

Крымский Гермоген Филиппович (р. 1937) – академик, гл. н. с. Института космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера, Сибирское отделение РАН.

Куликов Герман Викторович (р. 1932) – д. ф.-м. н., вед. н. с. НИИЯФ МГУ.

Лазутин Леонид Леонидович (р. 1938) – д. ф.-м. н., профессор, вед. н. с. НИИЯФ МГУ.

Логачев Юрий Иванович (р. 1926) – д. ф.-м. н., профессор, гл. н. с. НИИЯФ МГУ.

Логунов Анатолий Алексеевич (р. 1926) – академик, научный руководитель Государственного научного центра Российской Федерации Института физики высоких энергий, зав. кафедрой физики высоких энергий Физического факультета МГУ, ректор МГУ (1977–1992).

Любимов Герман Павлович (р. 1924) – д. ф.-м. н., профессор, гл. н. с. НИИЯФ МГУ.

Мнацаканова Мелита Николаевна (р. 1941) – к. ф.-м. н., с. н. с. НИИЯФ МГУ.

Мурзин Владимир Сергеевич (1927–2008) – д. ф.-м. н., профессор, гл. н. с. НИИЯФ МГУ.

Новиков Лев Симонович (р. 1940) – д. ф.-м. н., профессор, зав. отделом НИИЯФ МГУ.

Панасюк Михаил Игоревич (р. 1945) – д. ф.-м. н., профессор, директор НИИЯФ МГУ.

Подгорный Игорь Максимович (р. 1925) – д. ф.-м. н., профессор, вед. н. с. Института астрономии РАН.

Ракобольская Ирина Вячеславовна (р. 1919) – д. ф.-м. н., профессор кафедры физики космоса Физического факультета МГУ.

Романовский Евгений Александрович (р. 1929) – д. ф.-м. н., профессор, зав. отделом НИИЯФ МГУ.

Садовничий Виктор Антонович (р. 1939) – академик, ректор Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Сисакян Алексей Норайрович (р. 1944) – академик, директор Объединенного института ядерных исследований РАН.

Соловьева Вера Ивановна (1924–2004) – к. ф.-м. н., с. н. с. НИИЯФ МГУ.

Стожков Юрий Иванович (р. 1938) – д. ф.-м. н., профессор, зав. Долгопрудненской научной станцией Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.

Тверская Людмила Васильевна (р. 1937) – к. ф.-м. н., вед. н. с. НИИЯФ МГУ.

Топтыгин Игорь Николаевич (р. 1931) – д. ф.-м. н., профессор Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Христиансен Георгий Борисович (1927–2000) – академик, зав. отделом НИИЯФ МГУ.

Фейнберг Евгений Львович (1912–2005) – академик, советник при дирекции Физического института им. П.Н. Лебедева АН.

Шашуков Евгений Алексеевич (р. 1933) – к. х. н., с. н. с. Радиевого института им. В.Г. Хлопина РАН, директор музея В.Г. Хлопина.

Серия «Архив Московского университета»

АКАДЕМИК СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ВЕРНОВ: к 100-летию со дня рождения

Редакционно-издательский совет:

М.И. Панасюк (председатель),
Е.А. Романовский, Н.С. Зеленская, Н.Н. Калмыков, Ю.И. Логачев,
Л.С. Новиков, В.И. Тулупов, Н.А. Власова, Е.Н. Воронина

В книге использованы фотоснимки Ю.А. Туманова, Д.В. Бобкова,
А.Т. Абросимова, фотохроники ТАСС, фотоархива НИИЯФ МГУ
и семейного фотоархива Е.С. Верновой

Технический редактор
Корректор

Подписано в печать 25.04.2010. Формат 70х100/16
Бумага офс. №1. Офсетная печать. Усл. печ. л. 22,5.
Уч.-изд. л. Тираж. 1000 экз. Заказ № Изд. №

Ордена «Знак Почета»
Издательство Московского университета.
125009, Москва, ул. Б. Никитская, 5/7.

Тел.: 229-50-91, факс: 203-66-71,
929-33-23 (отдел реализации).
E-mail: kd_mgu@rambler.ru

Отпечатано в