

А. Пайс

ГЕНИИ НАУКИ

Перевод с английского Е. И. Фукаловой
Под редакцией к.ф.-м.н. С. Г. Новокшенова



Москва

2002

УДК 509.2

Интернет-магазин

MATHESIS

<http://shop.rcd.ru>

- физика
 - математика
 - биология
 - техника
-

Пайс А.

Гении науки. — Москва: Институт компьютерных исследований, 2002, 448 стр.

В этой книге Абрахам Пайс, сам являясь выдающимся физиком-теоретиком, рассказывает о других великих ученых, с которыми он был знаком.

На страницах этой книги мы встретим молчаливого Поля Дирака; Макса Борна, который придумал термин «квантовая механика»; Вольфганга Паули, известного своим принципом запрета; Митчелла Фейгенбаума, создателя теории хаоса, и Джона фон Неймана, одного из самых влиятельных математиков прошлого столетия. Не забыл Пайс также Альберта Эйнштейна и Нильса Бора, полные биографии которых он уже писал в отдельных книгах.

Книга полна исторических фактов, точных характеристик описываемых личностей и их научных достижений, а потому будет интересна широкому кругу читателей.

ISBN 5-93972-168-0

© Перевод на русский язык,
Институт компьютерных исследований, 2002

<http://rcd.ru>

Оскар Клейн*

Оскар Бенджамин Клейн родился 15 сентября 1894 года в Стокгольме. Он был третьим ребенком Готтлиба Клейна и Антонии (Тони), урожденной Леви. В этой семье поддерживались образовательные и культурные традиции. Отец Оскара был родом из Гомонны (Номонна) — городка в Южных Карпатах, семья держала там маленький магазин. Мать Оскара была дочерью востоковеда. Он рано уехал из дома, в 1873 году получил докторскую степень в университете Гейдельберга. В 1877 году стал раввином, завершив обучение, начатое вместе с Абрахамом Гейгером, основателем либерального движения в иудаизме. В 1883 году он переехал в Стокгольм в качестве первого главного раввина Швеции.

Клейн так вспоминает о росте своего интереса к науке: «Я пошел в школу в возрасте, который нельзя назвать ранним. Мне было 7 лет. . . Интерес к науке появился у меня очень рано. Главным образом, это был интерес к животным, я был рад слушать о мире животных и наблюдать его. Какое-то время я думал, что стану биологом. Этот период длился достаточно долго¹». Отец, всегда старавшийся найти для сына интересовавшие того книги, подарил ему «*Происхождение видов*» Дарвина.

Итак, когда мне было лет 14–15, я читал о Дарвине. . . Я сохранил свой интерес к биологии и недавно [в 1940 году] работал в сотрудничестве с одним из наших хороших цитологов². . . Примерно в четырнадцатилетнем возрасте я любил брать мамин театральные очки и разглядывать звезды. Однажды, когда мы вернулись домой с какой-то вечеринки, я увидел Сириус, это было большим событием. На следующий год я начал заниматься химией, пытаюсь устраивать фейерверки. Один из моих друзей одолжил мне книгу Оствальда «*Schule der Chemie*» (нем. — Школа химии), переведенную на шведский. Это была действительно интересная книга. . . Я пытался проделать по ней столько опытов, сколько смог. . . Затем я начал читать немного более серьезные книги по этой теме,

*Расширенная версия вступительной речи на симпозиуме посвященном 100-летию со дня рождения Оскара Клейна. Стокгольм, 19–20 сентября 1994 года. Более ранняя версия опубликована в «Записках о симпозиуме Оскара Клейна» (Издательство U. Lindström, Ed), стр. 1, World Scientific, Сингапур, 1995.

и у меня возникли большие неприятности. Тогда я почти не знал математику, позднее я открыл для себя, что математика — достаточно легкая наука. Но это открытие заняло много времени¹.

Отец Клейна, знавший Сванте Аррениуса, был однажды приглашен к нему на обед.

Это было летом 1910 года, мне вот-вот должно было исполниться шестнадцать. Мой отец тогда попросил своих двух сыновей прийти после ленча. Мы пришли: мой младший брат и я, и я встретился с Аррениусом и Оствальдом. Это, конечно же, было огромным событием. Аррениус тогда спросил меня, не хочу ли я немного поработать осенью в его лаборатории. К этому времени он уже работал над радиохимией.

Затем, это было, должно быть, весной 1911 года, я встретил представителя Аррениуса, и он спросил меня, не хочу ли я немного поработать. Я работал в свободное от школы время¹.

Эта работа привела к первой статье Клейна, опубликованной, когда ему было 18 лет. Темой статьи была растворимость гидрооксида цинка в щелочи³.

Еще в школе Клейн начал читать книги по физике: «Лекции по теоретической физике» Лоренца («В то время я вряд ли что-то понимал»), книгу по механике Гельмгольца. Аррениус одолжил ему книгу Резерфорда (на английском языке) по радиоактивным превращениям. «Физику и химию я изучал, главным образом, самостоятельно, [а также] позднее в университете. Самостоятельно, я изучил и немалую часть математики. . . Я привык делать все по-своему¹».

В 1912 году Клейн закончил среднюю школу и поступил в университет. Весной 1914 года он сдал *кандидатский* экзамен, после чего Аррениус написал письмо Жану Перрену с просьбой принять Клейна, чтобы тот поработал с Перреном в течение года в Париже. Клейн действительно поехал во Францию с целью совершенствовать свой французский, но вскоре ему пришлось вернуться в Швецию: разразилась первая мировая война. С июня 1915 по сентябрь 1916 года Клейн проходил военную службу, а затем вернулся к Аррениусу в качестве *amanuens* (научного сотрудника). В апреле 1917 года он завершил свою работу объемом в 48 страниц по измерениям диэлектрических постоянных спиртов в разных растворителях⁴».

Осенью того года из Копенгагена в Стокгольм приехал молодой голландский физик Хендрик Крамерс (для друзей — меня и Клейна — просто Ханс). Он приехал в Данию в 1916 году в качестве

одного из более чем 400 иностранных посетителей, чтобы, по меньшей мере, в течение месяца учиться у Нильса Бора. (В действительности Крамерс остался там на десять лет.)

Крамерс приехал в институт Аррениуса, и у нас состоялось несколько личных бесед. . . Мы говорили о квантовании, адиабатическом принципе и тому подобных вещах. . . Я не помню, когда я впервые услышал о трудах Бора. Думаю, это было на втором году моего обучения в университете, осенью 1913 года. . . Когда впервые слышишь о кванте, это звучит таинственно. . . Затем я начал читать. Я немного понимал формальную часть, но мое понимание физики было неясным. Я прочитал работы по квантованию Зоммерфельда и Шварцшильда¹.

Клейн читал все это во время своего последнего года работы (1917–18) в лаборатории Аррениуса. «Меня поразило объяснение постоянной Ридберга Бором. Но я был далек от понимания глубоких предпосылок этого результата. Меня больше впечатлили ясные математические работы Зоммерфельда, Эйнштейна и Дебая⁵».

Затем сын Аррениуса, друг Клейна, предложил ему обратиться с просьбой о предоставлении стипендии для обучения за границей. «Я выбрал, в основном, Эйнштейна и Дебая. . . , но поскольку Бор был рядом, я сначала написал ему⁵». Между тем, Клейн опубликовал статью о точках замерзания бинарных растворов электролитов⁶.

В своем первом письме Бору, датированном 27 марта 1918 года, Клейн говорит о своем интересе к квантовой физике и о своем желании работать под руководством Бора, спрашивая, принимает ли Бор учеников из других стран. Через неделю он получил ответ от Бора. Бор писал, что будет рад видеть его в Копенгагене, добавляя: «С моей стороны, будет большим удовольствием дать Вам любой совет, который может помочь в Вашем обучении⁷». Клейн поблагодарил Бора⁸, сообщив, что осенью ему предстоит пройти военную службу, а также рассказал о своей последней публикации⁶. Следует отметить, что первые несколько писем к Бору Клейн писал на шведском языке, после чего он всегда писал ему на хорошем датском. Перед тем как отправиться в Данию, Клейн завершил незначительную статью⁹, которая, тем не менее, представляет интерес, поскольку ее темой является рассеяние рентгеновских лучей. Через десять лет он сделает важное открытие по этой теме.

Когда в мае 1918 года Клейн прибыл в Копенгаген (он был вторым иностранцем, прибывшим работать с Бором), он не поехал

в институт Бора на Блегдамсвей (Blegdamsvej) по той простой причине, что его еще не существовало. В то время в Копенгагенском университете не было, фактически, никакого института физики. Вскоре после состоявшегося 5 мая 1916 года назначения Бора на должность первого профессора Дании по теоретической физике, ему, на последующие 4 года, предоставили маленькое помещение, занимающее менее 150 квадратных футов в Polytekniske Laegeanstalt в Solvtorvet (сейчас — Технический университет Дании). Поначалу ему пришлось делить это маленькое пространство с Крамерсом. Когда прибыл Клейн, ему пришлось работать в библиотеке, примыкающей к отделу Бора. Там же работали Адальберт Рубинович — поляк, и Свен Росселанд — норвежский астрофизик. И тот, и другой приехали в 1920 году. Участок земли для института Бора, который мы знаем и любим, был фактически куплен у Копенгагенского *Kommune* (Муниципалитета) в августе 1918 года во время первого визита Клейна в Копенгаген.

Вспоминая о многочисленных вкладах в физику Нильса Бора, не следует забывать, что ему принадлежала инициатива, он руководил строительством здания, он находил средства и сам встал во главе института, ставшего в 20-х–30-х годах Меккой теоретической физики.

Во время первого пребывания там Клейна, он «много узнал от Крамерса, а Крамерс, в свою очередь, научился этому у Бора. От Бора я слышал, в основном, общие вещи, а в то время у меня не было возможности часто встречаться с ним¹». (Бор, естественно, тогда был очень занят устройством своего нового института.) Клейн вспоминает, как гостеприимно Бор и его жена приняли его в своем доме в Хеллерупе (Hellerup).

Возвратившись в сентябре в Стокгольм, Клейн написал Бору¹⁰, поблагодарив его за свое пребывание, и заметил, что его статья о «вириальной работе» по вопросу осмотического давления в электролитах¹¹ почти готова. Эта работа демонстрирует, насколько хорошо Клейн разбирался в статистической механике. Ответ Бора¹² на 14 страницах показывает, как серьезно он относился к работе Клейна. Это ясно также из той признательности «за ценный совет», которую Клейн выразил Бору.

В декабре Клейн сообщает Бору, что Крамерс придет его навестить и будет преподавать ему квантовую теорию, и выражает надежду, что он не слишком беспокоил Бора всеми своими глупостями. После приезда Крамерса в январе 1919 года они отправились на лыжную прогулку в Даларну, область в центральной части Швеции, и, конечно же, разговаривали о физике. Обсуждалась идея о том, что разделение уравнения Гамильтона–Якоби (важный инструмент для методов квантования) было возможно лишь

в эллиптических координатах. «Нам удалось кое-что сделать по решению этой задачи, но ничего не было опубликовано¹». (Клейн работал над этой задачей с 1919 по 1921 годы. Неопубликованный фрагмент этого исследования находится в архиве Нильса Бора.) К тому времени он также начал обдумывать тему своей докторской диссертации¹³.

Время с июня до конца ноября 1919 года Клейн вновь провел в Копенгагене.

Бор сначала поставил мне задачу о кольцевых молекулах. Результат был отрицательным. Но это, конечно, было хорошим опытом. У меня была возможность беседовать с Бором. И я находился под сильным впечатлением как от самой личности Бора, так и от его способа рассуждения. . .

Я помню, как Бор пригласил меня на довольно длительную прогулку на севере Sjaelland, и там он немного рассказал мне о своих идеях, касающихся не только физики, но и общей философии, включая идеи его отца по темологии. . . Он упомянул о том, что использование [классической] механики было временным явлением и что очень странно то, что считается возможным квантовать посредством механических орбит. . . Остальные из нас тоже очень скоро это поняли, т. е. что все неудовлетворительно в том виде, в каком это находится. Следует понять, насколько далеко можно продвинуться, используя [классическую] механику и что существуют очевидные пределы¹.

Научная работа Бора в то время касалась, главным образом, того, что позднее он назвал принципом соответствия.

Летом 1919 года Клейн впервые стал тесно сотрудничать с Бором. Весной Крамерс уехал в Лейден, чтобы получить докторскую степень, и затем остался в Голландии, сначала для того, чтобы отдохнуть, а затем из-за болезни. Бор присоединился к Крамерсу в Лейдене и прочитал лекцию (на английском) на тему недавней работы, которую он хотел переделать по возвращении. Клейн должен был помочь ему в этом. Он описал, как проходила его совместная работа с Бором.

Нашим рабочим местом была снятая в аренду комната недалеко от того деревенского дома, где останавливался Бор со своей семьей летом, пока они не переехали в собственный дом в Тисвилде Хегн. Бор усаживал меня за стол с карандашом и бумагой, а сам ходил вокруг него, диктуя по-английски и объясняя мне это по-датски, в то время как я пытался записать английский текст. Иногда он надолго замолкал, обдумывая следующую часть работы или думая о чем-то совершенно постороннем. . . Часто работа также прерывалась короткими пробежками на берег купаться, иногда мы вместе с его семьей ездили туда на велосипедах.

Целью работы было познакомить публику с сутью квантовой теории атомов и молекул. Лейденская лекция не была опубликована. Ее

содержание было включено в более позднюю статью, написанную в связи с лекцией в Берлине следующей весной.

Осенью 1919 года Клейн посетил небольшую конференцию в Лунде, где читали лекции Бор и Арнольд Зоммерфельд. «Тогда мы считали, что понимание Бора гораздо глубже, чем Зоммерфельда, но [сейчас] я думаю, что мы, как часто случается с молодыми людьми, недооценивали Зоммерфельда¹». Вернувшись в Стокгольм, Клейн получил письмо от Бора, который писал, что ему приятно узнать, что Клейну понравилось на конференции. Бор тоже получил удовольствие, выступая там¹⁵.

«Перед Новым 1920 годом Бор вместе со мной и моими шведскими друзьями отправился кататься на лыжах в Даларну, где он впечатлил всех своим практическим умением. По этому случаю один из друзей Клейна сказал забавный комплимент (пошведски): «Единственным критерием, по которому можно определить профессора, является тот факт, что профессор всегда забывает свои перчатки¹⁴». После поездки Бор написал Клейну, поблагодарив его за радушный прием в семейном доме и сказав, что он был счастлив познакомиться с мамой Клейна¹⁶.

В 1920 году Клейн провел некоторое время и в Копенгагене¹⁷. Там он работал в сотрудничестве с Росселандом над статьей о статистическом равновесии смеси атомов и свободных электронов. Целью была теоретическая интерпретация знаменитых экспериментов Джеймса Франка и Густава Гейнца по электронно-атомным столкновениям¹⁸, которые, как показали эти авторы, приводили к следующим процессам:

$$\begin{aligned} &\text{более высокая энергия движения электронов} \longrightarrow \\ &\quad \text{энергия возбуждения атома} + \\ &\quad + \text{малая энергия движения электронов.} \end{aligned}$$

Клейн вспоминал:

Однажды, когда мы сидели в библиотеке Ларенштальта (Laereanstalt), Росселанд начал говорить об этом. Его интересовало, как там могло существовать температурное равновесие. Мне вдруг пришло в голову, как это можно сформулировать... по аналогии с Эйнштейновской работой [1917 года по равновесию атомов в электромагнитном излучении]. Вечером того дня Бор повел меня в театр... и я рассказал ему об этом... Он посоветовал нам с Росселандом опубликовать совместную работу¹⁹.

И они сделали это²⁰. Это было первой существенной публикацией Клейна, чисто теоретической работой, которая длительное время имела значение. Суть в следующем. До того времени считалось, что электроны, сталкиваясь с атомами, всегда теряют энер-

гию. Но Клейн и Росселанд считали, что это невозможно, потому что тогда нарушается второй закон термодинамики. Их наблюдение заключается во введении «столкновений второго рода», в соответствии с которым электрон не теряет энергию, сталкиваясь с атомом, а получает ее, поскольку атом совершает переход в более низкое стационарное состояние. Это тот же процесс, что показан выше, но направление стрелки меняется на обратное. Благодаря успешному применению этого понятия к атомной, молекулярной и небесной физике, имя Клейна стало широко известно.

Хочу отметить применение этого понятия, которое кажется мне самым захватывающим. В 1860-х годах в спектрах туманностей были обнаружены линии, которые означали присутствие неизвестного вещества. Ученые пришли к выводу, что это новый элемент, и назвали его небулием. Ссылки на этот, в других случаях ускользающий элемент, встречаются в литературе в течение более 60-ти лет, вплоть до 1927 года, когда стало известно, что таинственные линии возникают благодаря переходам из метастабильных состояний азота и кислорода²¹. Почему эти линии никогда не видели на Земле? Потому что в земных условиях давление более высокое и эти состояния теряют энергию быстрее через столкновения второго рода!

Научная статья Клейна–Росселанда имеет честь быть первой за подписью *Institut f. teoretisk Fysik*, хотя институт официально еще не существовал. Подпись датирована 17 ноября 1920 года, а официальное открытие института состоялось 3 марта 1921 года.

Следующей работой Клейна стала его докторская диссертация.

Я тогда занимался силами, возникающими между ионами в сильных электролитах. Я пытался применить статистическую механику Гиббса к решению этих задач; и Бор продемонстрировал мне свой глубокий взгляд на эту тему, рассказав, как общее каноническое распределение Гиббса дало то самое определение температуры. Все это означало для меня открытие новой эпохи, особенно радостной, хотя моя собственная работа и приводила, в основном, к неудачам. Но это привело меня к диссертации по обобщенному броуновскому движению, которая имела значение как основа для теории растворов взаимодействующих частиц¹⁹.

В этой работе Клейн развил идеи ранних работ Эйнштейна и Мариана фон Смолуховского. Он выразил благодарность Арениусу и Бору «за доброжелательный интерес, с которым они направляли мои исследования в течение нескольких лет¹⁹».

25 мая 1921 года в 10 утра Клейн начал защиту этой диссертации. Его оппонентами были Ивар Фредгольм, выдающийся шведский математик, и Крамерс.

Я никогда не любил подобные формальные вещи, но защита была очень легкой. Прежде всего, Крамерс был моим старым другом, поэтому у нас было довольно оживленное обсуждение. Профессор Фредхольм был очень доброжелателен, поэтому большой оппозиции и не было. . . После защиты часто устраиваются официальные обеды, мы обедали у меня дома. Мы жили на вилле в окрестностях Стокгольма, и это было замечательно²³.

В сентябре 1921 года Клейн вновь приехал в Копенгаген, на этот раз на год. Бор попросил его сделать кое-какие вычисления по силам Ван-дер-Ваальса. «Это была очень трудная математическая задача. . . вычисления продвигались очень медленно²³». Эта работа осталась неопубликованной.

В это время сам Бор был погружен (с 1920 года) в попытки понять периодическую таблицу элементов. К тому времени стало очевидным, немало усилий приложили к этому Бор и Крамерс, что успехи в понимании спектра водорода не могли быть распространены на более тяжелые атомы. Даже с гелием уже возникли проблемы. Это было неудивительно, поскольку еще не были известны ни принцип запрета Паули, ни спин. Бор решил сосредоточить усилия только на *основных* атомных состояниях в интерпретации периодической таблицы. В июне 1922 года он отправился в Геттинген, чтобы прочитать по этой теме семь лекций. Это событие позднее получило название Festspiele (фестиваль) Бора. Это стало большим событием в жизни Клейна. Он писал:

Я должен воздержаться от перечисления всех выдающихся физиков, уже давно известных и молодых, присутствующих на лекциях Бора, где я сопровождал его в качестве ассистента. Иначе мне пришлось бы составлять очень длинный список. Бор, которому раньше случалось встречаться со значительной критикой и недостатком понимания, стал на этот раз тем, кого все слушают с почитанием. Поэтому обсуждение лекций состояло, в основном, в том, имел ли Бор в виду то или другое, а сама тема не обсуждалась¹⁴.

После возвращения Бор написал Клейну, поблагодарив за помощь в совместной поездке и добавив, что он был рад слышать о том, что и Клейну поездка понравилась²⁴.

В Геттингене Клейн впервые встретился с Паули и Эренфестом. Мы обязаны Клейну одной из лучших историй о Паули:

Тогда в Геттингене Паули и Эренфест тоже встретились впервые. С этой встречи между ними начинается так называемая «шушлявая война». И первая история об этом касается весьма оригинальной и глубокой, но противоречивой статьи по статистической механике, написанной Эренфестом и его женой для *Enzyklopädie der Mathematischen Wissenschaften**. При первой встрече Эренфест, от-

*Энциклопедия математических наук (нем.). — Прим. перев.

ступив от Паули и насмешливо глядя на него, произнес: «Господин Паули, Ваша статья понравилась мне больше, чем Вы сами!» (Паули написал статью по теории относительности для той же энциклопедии.) На что Паули спокойно ответил: «Забавно, с Вашей статьей и Вами — все наоборот!»²⁵

В декабре 1922 года Бор приехал в Стокгольм для получения Нобелевской премии. Клейн присутствовал при этом и вспоминал позднее: «На обязательной лекции, темой которой он выбрал строение атомов, он обнаружил, что забыл записи и слайды в гостинице, поэтому ему пришлось читать лекцию без них, пока их не принесли. Это, тем не менее, было, скорее, преимуществом, потому что заставило его импровизировать — так, как он импровизировал при личных беседах¹⁴».

Мы подошли к поворотному моменту в деятельности Клейна.

Прежде всего, 1922 год отмечает начало его популярных трудов по физике. Первым таким сочинением стало эссе по теории атома Бора²⁶, вторым — эссе на тему открытия гафния²⁷. Вскоре после этого он опубликовал свою первую работу по философским вопросам, — опровержение возражений к теории относительности, высказанных шведскими философами²⁸.

Второе, Клейн начал поиски работы. Сначала он пытался найти работу в Стокгольме.

Я прочитал ряд лекций, по две лекции в неделю, по атомной теории, пытаюсь дать обзор теории Бора, а также серию лекций по статистической термодинамике. Это была довольно тяжелая работа. Мне пришлось, практически, читать и писать одновременно. Я надеялся получить должность лектора, преподавателя в Стокгольме, но у них не было средств²³.

В ноябре Клейн написал Бору²⁹, что ему пришлось подать заявление о приеме на работу в качестве преподавателя в Лунде. Он поехал туда, но

в Лунде у меня не было настоящей должности. Мне пообещали 5 000 крон в год, но на неопределенный период. . . [Тогда я спросил Бора], как он считает, есть ли возможность найти преподавательскую работу в английском университете. Бор ответил, что это вряд ли получится, в Англии и так много преподавателей. Но он добавил, что совсем недавно один американский физик-теоретик спрашивал его о возможном кандидате на эту должность в Энн Арбор. Он не подумал обо мне, потому что не знал, что у меня все так неопределенно, и считал, что я хочу остаться в Швеции. Он пообещал предложить мою кандидатуру²³.

Бор сделал это. В поддержку заявления Клейна о выделении стипендии на поездку в Америку, он писал, что лично знаком с работой Клейна и что «Клейн — необычайно талантливый молодой физик. Можно с уверенностью сказать, что его ждет большое будущее в научной деятельности».

И третье важное событие этого года. Есть такая относительно верная примета, по которой мужчина-физик, проживший в Дании больше года, женится на датчанке. (Я не исключение в этом смысле.) Первым был Крамерс, вторым Клейн. 15 августа 1923 года в Аархусе (Aarhus) он женился на Герде Агнете Кох, дочери врача, изучавшей датскую литературу в университете Копенгагена. Молодая пара получила удовольствие от того факта, что отцом жениха был раввин, в то время как в роду невесты были епископы и священники. У них будет шесть детей.

Когда в сентябре 1923 года новобрачные отправились в Энн Арбор, штат Мичиган, где Клейн должен был стать преподавателем, квантовая теория претерпевала глубокий кризис. Одна основная трудность состояла в том, что никто не мог понять поведение атомов в магнитном поле. Клейн вспомнил замечательную историю. «Паули рассказал мне, как однажды в Копенгагене он шел по улице и, будучи в подавленном настроении, размышлял о [так называемом] аномальном эффекте Зеемана. Внезапно он услышал за спиной глубокий серьезный голос: «Думай о Господе». Это был один из уличных проповедников¹⁹».

Не все знают о том, что и сам Клейн способствовал углублению кризиса. Его работа была связана с действием пересекающихся электрических и магнитных сил на атом водорода. Он открыл, что в этом случае теория допускает переходы между «разрешенными» и «запрещенными» квантовыми орбитами, а это было плохо. «Когда в начале декабря 1923 года Бор приехал в Энн Арбор, я рассказал ему об этом, и его это очень заинтересовало²³». В начале января Клейн послал свою рукопись Бору, который сообщил ему³¹, что «сделав мелкие поправки, он переправил ее в *Zeitschrift für Physik*³²». Трудный вопрос, который поднял Клейн, был разрешен после открытия квантовой механики.

В последнем письме Бору³³ Клейн писал, что намерен остаться в Энн Арборе еще на один учебный год и его зарплата будет повышена. Семья готовилась «переехать в маленький домик, где мы будем хозяевами». Клейн рассказал Бору о своей текущей работе на тему взаимодействия между вращением двухатомной молекулы и прецессией электронных орбитальных моментов в ней³⁴.

Клейн также отметил, что ему «очень хотелось бы узнать о новой работе по вопросу излучения». Это относится к злополучной

попытке³⁵ Бора, Крамерса и Джона Слэтера (БКС) избежать ввещения фотонов — вопрос, ставший актуальным вследствие открытия эффекта Комптона в 1923 году. В июне 1924 года Клейн вновь написал Бору³⁶, сообщив о рождении первого сына, о том, что он преподает атомную теорию в летней школе и что он углубился в работу БКС. В августе он написал Крамерсу³⁷, что его «книга по свету»³⁸ только что отослана.

В Энн Арборе у Клейна появилась идея о том, что позднее стало известно как теория Калуцы–Клейна. Я ограничусь лишь несколькими краткими историческими наблюдениями о ее происхождении.

Математик и превосходный лингвист Теодор Калуца первым предположил, что объединения гравитации и электромагнетизма можно достигнуть, расширив пространство-время до пятимерного множества. Эта идея была у него, должно быть, еще в 1919 году, потому что в это время Эйнштейн писал ему: «Идея... о пятимерном мире-цилиндре никогда не приходила мне в голову... На первый взгляд, Ваша идея нравится мне чрезвычайно³⁹... формальное единство Вашей теории поразительно⁴⁰». В 1921 году он сообщил о работе Калуцы прусской Академии наук.

До 1924 года Клейн не начинал работать в этом направлении и не публиковался^{42,43} до 1926 года. Лишь в этом году он впервые услышал о Калуце.

Когда в начале 1926 года Паули приехал в Копенгаген, я показал ему свою рукопись по пятимерной теории. Прочитав ее, он сообщил мне, что несколько лет назад Калуца опубликовал статью по этой же теме. Я пропустил эту статью. Я нашел статью, прочитал ее и сделал на нее ссылку в своей работе, которую я писал после этого в духе заявления об отставке... Я пытался спасти, что мог, с потерпевшего крушение корабля⁵.

Возможно, его ободрил бы следующий факт, если бы он знал о нем: вскоре после этого Эйнштейн написал Эренфесту: «Работа Клейна прекрасна. Она впечатляет, но я нахожу принцип Калуцы слишком неестественным⁴⁴». Я где-то уже излагал относительные достоинства двух авторов и технические детали их работы⁴⁵. Здесь я лишь кратко отмечу, что Калуца полностью отказался от любой зависимости от пятой координаты и не задался вопросом, почему мы не видим пятое измерение, если оно существует. Клейн, с другой стороны, принял дополнительное измерение всерьез, предположив, что оно имеет круговую топологию, поэтому пятая координата является периодической.

В конце 1960-х Клейн рассказал, как возрос его интерес к единой теории поля:

[Осенью 1924 года] я читал курс лекций по электромагнетизму, к концу которого я выводил общее релятивистское уравнение Гамильтона–Якоби для заряженной частицы, движущейся в комбинации гравитационном и электромагнитном поле. В связи с этим, мое внимание привлекло сходство способов, которыми входили в это уравнение электромагнитные потенциалы и гравитационные потенциалы Эйнштейна, электрический заряд в соответствующих единицах казался аналогом пятой компоненты импульса, все вместе выглядело как уравнение фронта волны в пространстве [пяти] измерений. Это ввергло меня в водоворот предположений, из которого я не мог выбраться в течение нескольких лет и который до сих пор странным образом притягивает меня.

Мне немедленно захотелось выяснить, можно ли по аналогии с четырехмерным формализмом Эйнштейна приспособить формализм пятимерной римановой геометрии (соответствующей четырем пространственным измерениям плюс время) для уравнений Максвелла электромагнитного поля вместе с гравитационными уравнениями Эйнштейна. Я довольно быстро доказал это в линейном приближении, допустив наличие пяти уравнений, в соответствии с которыми электрически заряженная частица движется вдоль пятимерной геодезической⁵.

Летом 1925 года Клейн успешно вышел за пределы линейного приближения. Он открыл, что обычный четырехмерный вектор энергии-импульса стал пятимерным вектором энергии-импульса электрического заряда и что пространство в пятом измерении является замкнутой окружностью с радиусом, равным примерно 10^{-30} сантиметров.

Далее я хочу рассказать о том влиянии, которое теория объединения Клейна оказала на его идеи о квантовой физике. Это самая сложная идея в его карьере. Как он вспоминает:

То сильное впечатление, которое это [объединение] произвело на меня, исходит от моей попытки найти волновой фон к правилам квантования⁵... В ранние годы своей научной деятельности Бор сам — и это сыграло для меня свою роль — сказал, что поскольку не получается связать квантовое явление и четыре измерения, то, может быть, следует попытаться сделать это в большем количестве измерений...¹⁶ [Эта ссылка на Бора объясняет таинственную в других отношениях ссылку 42 на стр. 906.]

Я помню, как я размышлял о пятом измерении еще летом [1922 года] в Геттингене... [Осенью 1924 года] мне пришла главная идея о волновой механике. [Курсив автора.] Это был всего лишь набросок на нескольких страницах, но позднее, когда я захотел найти его, я не смог это сделать. Наверное, он остался в Энн Арборе...

Тогда я пытался найти стационарные состояния гармонического осциллятора. Но я слишком плохо знал математику и потерпел неудачу; в это время появилась работа Шредингера об атоме водорода²³.

В своих опубликованных работах Клейн подвел итог своим квантовым идеям: «Новая квантовая механика Шредингера может быть выведена из волнового уравнения в пятимерном пространстве... происхождение постоянной Планка можно искать в периодичности в пятом измерении⁴³».

В июле 1926 года Клейн сообщил Бору⁴² о своем визите в Лейден, отметив, что Эренфест был доволен его лекциями по пяти измерениям. Уленбек, слушавший лекции, позднее сказал мне: «Я помню, что когда Клейн рассказал нам о своих идеях, которые не только объединяли уравнения Максвелла с уравнениями Эйнштейна, но, кроме того, вводили квантовую теорию, я испытал чуть ли не экстаз! Теперь мир понят!» Лейденские лекции Клейна вдохновили Уленбека и Эренфеста опубликовать работу по «графической визуализации фазовых волн де Бройля в пятимерном мире О. Клейна»⁴⁸.

Клейн продолжал размышлять о пятимерной теории. Его прекрасная статья, представленная в декабре 1926 года⁴⁸ и рассматривающая применение волновой механики к электродинамике с помощью принципа соответствия, заканчивается комментариями о волновой механике в пяти измерениях. В связи с этим Паули писал Бору: «Я не могу не поздравить Вас с тем, что благодаря Вам Клейн лишь вкратце затронул вопрос о пятом измерении в завершающей части⁵⁰». И вновь Паули пишет Бору через четыре месяца: «Большой привет Клейну. От всего сердца я желаю скорого выздоровления его физике⁵¹».

Но Клейн продолжал двигаться вперед. В 1927 году он представил объемную работу по своей пятимерной теории, в которой объяснял, что его формальная математическая трактовка объединяет пять законов сохранения: три компоненты импульса, один — энергии и один — электрического заряда⁵². Позднее Клейн еще возвращался к этим идеям, то там, то здесь. По его словам: «После краткой атаки «пятери́я» летом 1933 года⁵³ еще более неистовая ожидала меня в 1937 году, тогда я представил работу на Варшавской конференции в 1938 году⁵». Я позднее вернусь к этой работе Клейна. Следующее упоминание Клейном пяти измерений относится, как я нашел, к 1957 году (через 20 лет), при обсуждении зарядового сопряжения и инвариантности четности⁵⁵.

Может показаться, что пятое измерение было любовью игровой Клейна на протяжении всей его жизни. Но это не так. Когда в 1969 году в возрасте 75 лет он вернулся к проделанной им работе в своей вступительной речи «Из жизни в физике»⁵, он вспомнил,

как в 1927 году на Пасху они с Паули были в Копенгагене и выпили бутылку вина по случаю смерти пятого измерения. Добавьте к этому его комментарий в 1969 году: «Дирак может справедливо отметить, что моя основная проблема состоит в том, что я пытаюсь решить слишком много проблем [а именно, геометризации электромагнетизма, а также квантовой теории] одновременно⁵⁵», и можно сделать вывод, что к концу жизни Клейн отрекся от всего, что он написал на эту тему с 1927 года!! Современные физики, занимающиеся теорией струн и считающие, что многомерные теории приведут к Чаше Грааля, могут поразмыслить над переменной отношения Клейна.

Я возвращаюсь к лету 1925 года, когда Клейн вернулся из Америки. В июне Клейн написал Бору о своих планах приехать осенью в Копенгаген⁵⁶. В сентябре он вновь написал, сообщив, что болен воспалением легких, за которым последовал гепатит⁵⁷. Он действительно был очень болен. В декабре миссис Клейн написала Бору⁵⁸, что ее муж все еще в больнице, но ему «гораздо лучше».

В январе Клейн написал письмо сам, на этот раз из дома. Он сообщил, что чувствует себя гораздо лучше и читает работы Гейзенберга, Борна и Иордана⁵⁹. Во время вынужденного отсутствия Клейна в жизни физики, ее границы значительно расширились. Была открыта квантовая механика — в матричной форме Гейзенбергом (июль 1925) и на языке волн Шредингером (январь 1926 года).

На копенгагенской сцене в физике также произошли изменения. Крамерс, получивший должность Lektor (доцента) в 1923 году в Копенгагене, в марте 1926 уехал, чтобы вести профессорскую деятельность в Утрехте. В мае 1926 года его сменил Гейзенберг, остававшийся в этой должности до июня 1927 года. Гейзенберг, самая независимая личность в Копенгагенском окружении, не подходил на роль самого близкого сотрудника Бора — последователя Крамерса. Эта задача выпала на долю Клейна после его приезда в марте 1926 года. Он оставался на этом посту в течение пяти лет. Так он стал самым важным свидетелем рождения принципа дополнительности.

Осенью 1926 года физики начали привыкать делать вычисления с помощью матричной механики — корпускулярная модель, и те-

ории Шредингера — волновая модель. К тому времени была известна математическая эквивалентность этих двух моделей. Что касается понимания более глубокой их связи, оно еще не было ясным. Такова была ситуация, когда Шредингер приехал в Копенгаген в октябре того года, чтобы обсудить свои идеи с Бором в присутствии Гейзенберга. Гейзенберг потом описывал это так: «Нельзя было ожидать действительного понимания в то время, поскольку еще никто не мог предложить полную и последовательную модель квантовой механики⁶⁰».

После отъезда Шредингера, Бор с Гейзенбергом продолжали бороться с интерпретацией квантовой механики, но не могли прийти к общему мнению, как ни пытались. Гейзенберг вспоминал:

Мы обсудили эти проблемы вдоль и поперек, и иногда нам уже не хватало терпения друг к другу. Я, например, пытался сказать: «Вот, это ответ». На что Бор возражал, указывая на противоречия: «Нет, это не может быть ответом», и т. д. . . В конце концов, сразу же после Рождества, мы оба пришли в отчаяние. Мы почему-то не могли согласовать свою работу и потому были слегка рассержены⁶¹. . . Мы оба очень устали и часто нервничали. Поэтому в феврале 1927 года Бор решил поехать в Норвегию покататься на лыжах, и я был рад остаться один в Копенгагене, потому что мог спокойно поразмыслить над этими безнадежно трудными задачами⁶².

Клейн оставил нам свое впечатление о душевном состоянии Бора, когда он отправился в Норвегию:

Он выглядел очень усталым, и я подумал, что эта новая квантовая механика не только доставляет ему удовольствие, но и является причиной огромного напряжения. Он, наверное, не ожидал, что все это придет так неожиданно. Скорее, он думал, что ему, возможно, удастся сделать большой вклад. В то же самое время он расхваливал Гейзенберга, говоря о нем почти как о Мессии. Я думаю, Гейзенберг и сам понимал, что это было небольшим преувеличением⁶².

Сразу же после отъезда Бора в Норвегию, Гейзенберг, оставшись один в Копенгагене и имея возможность спокойно работать, сделал одно из своих самых больших открытий: соотношение неопределенностей. Когда Бор вернулся из Норвегии, Гейзенберг показал ему написанную им на эту тему научную статью. Клейн: «Бор прочитал статью, и сначала она его захватила, но когда он начал читать повнимательнее, он был очень разочарован⁶³», потому что увидел, что Гейзенберг допустил серьезную ошибку, не в общих выводах, а в том, как он трактовал пример обнаружения положения электрона с помощью гамма-лучевого микроскопа. Гейзенберг:

Бор пытался объяснить, что это было неправильным и что я не должен публиковать эту статью. Я помню, разговор закончился тем,

что я заплакал, потому что не мог выдержать такого давления со стороны Бора. . .

Бор отправился за город по причинам, которые мне неизвестны. Я тоже отправился за город в другое место. И я помню, как однажды мы встретились, гуляя по окрестностям, — эти два места были недалеко друг от друга. Я не помню, оговаривали мы место встречи или это произошло случайно, но мы встретились: с одной стороны Бор и Оскар Клейн, с другой — я. Состоялся разговор.

На последних этапах обсуждения проблемы, где-то в феврале-марте, в него включился Клейн. Но каким-то образом я чувствовал, что Оскар Клейн, будучи старым другом Бора, считал своей обязанностью его защищать, выступая против молодого Гейзенберга. Возможно, вопрос был еще и в том, кто окончательно прояснил ситуацию и т. д. Поэтому Клейн хотел помочь Бору, а я иногда был слишком резок или слишком скор на ответ, я не знаю. Итак, Клейн часто принимал участие в обсуждениях и тоже помог прояснить вопросы. В конце концов, он очень хороший физик. . . Я думаю, что никто не участвовал в тех спорах, кроме Бора, Клейна и меня, только Паули, с которым я переписывался⁶¹.

Клейн вспоминал: «Как результаты, так и неудачи в работе Гейзенберга послужили источником вдохновения для Бора, и с того времени он работал над этими вопросами день и ночь⁶⁴».

Эта работа, в действительности, началась, еще когда Бор был в Норвегии. Во время этого отдыха с катанием на лыжах появились его первые идеи по принципу дополненности. Выбор ассистента Бора в написании работы по этой новой теме пал на Клейна.

Бор начал рано. . . в апреле, а затем мы отправились в Тисвилд (летний дом Бора). . . Бор диктовал мне, но на следующий день все, что он диктовал мне накануне, вычеркивалось, и мы начинали снова. Так продолжалось все лето, и через некоторое время миссис Бор загрустила. . . Однажды, когда я один сидел в маленькой комнате, где мы работали, она вошла туда в слезах. . . , потом Бору пришлось поехать на встречу в Комо, и потом, под сильным давлением со стороны его брата Харальда, он действительно постарался закончить статью⁶³.

Бор представил свой взгляд на эту тему 16 сентября 1927 года на встрече в Комо, которая состоялась в честь столетия со дня смерти Алессандро Вольта. Рукопись этой лекции оказалась потеряна, но в архиве Нильса Бора сохранилось много черновиков этого доклада. Почти все они написаны рукой Клейна. Пусть Гейзенбергу принадлежит завершающее слово: «Мы пришли к выводу, в немалой степени благодаря участию Оскара Клейна, что соотношение неопределенностей было лишь частным случаем более общего принципа дополненности⁶⁵».

Этот период очень сблизил семьи Бора и Клейна. Старший сын Бора как-то сказал: «Воспоминания нашего детства связаны со множеством «дядей» разных национальностей, среди них... дядя Клейн⁶⁶». Когда Гейзенберг в июне 1927 года уехал из Копенгагена, чтобы получить профессорскую должность в Лейпциге, Клейн стал его последователем в качестве Лектор. Он также продолжал помогать Бору и даже писал письма от его имени⁶⁷.

Уже во время эпизода Бора–Гейзенберга, Крамерс советовал Клейну: «Не ввязывайся в конфликт, мы оба слишком доброжелательны и великодушны, чтобы участвовать в такого рода борьбе⁶⁸». Клейн и его жена настояли на том, чтобы Клейн занимался своей самой оригинальной и смелой работой, когда Бор уезжал из Копенгагена⁶⁸.

Как бы там ни было, свои лучшие работы по физике Клейн написал, в основном, работая в Копенгагене с 1926 по 1929 годы. Некоторые из статей этого периода навсегда принесли известность его имени.

- 1) Я уже упоминал о его работе, завершенной в декабре 1926 года⁴⁹, в которой он определил вероятности атомных переходов до того, как это сделал Дирак более убедительным способом — квантованием электромагнитного поля. *Первый раздел этой работы содержит его релятивистское скалярное волновое уравнение, известное с тех пор как уравнение Клейна–Гордона.*

Физик Стэнли Десер, зять Клейна, вспоминал: «Единственный раз он жаловался на несправедливость, когда ему не поставили в заслугу открытие уравнения Шредингера⁶⁹». Я могу хорошо понять, что он чувствовал, хотя и не согласен с ним. Конечно, я принимаю воспоминание Клейна²³, что в 1924 году у него уже было основное представление о волновой механике. Я также понимаю причину, по которой он не опубликовал свою идею: «Я слишком мало знал о математике²³». Но если вы не публикуетесь, то нельзя требовать похвал, — таковы правила игры. Я, между прочим, могу заметить, что в связи с открытием скалярного волнового уравнения вспоминается не только Клейн, но и другие, — Гордон⁷⁰, например⁷¹.

- 2) В 1927 году Клейн и Иордан представили новый метод обращения с теми квантово-механическими системами, которые

подчиняются статистике Бозе–Эйнштейна⁷². Гейзенберг подчеркнул основополагающее значение этого метода, который довольно неудачно назвали вторичным квантованием:

Взгляд Бора на дополнительность нашел очень внушительное представление в математической схеме квантовой теории, когда Иордан, Клейн и Вигнер⁷³ смогли показать, что исходя из простой (трехмерной) теории материальных волн в смысле Шредингера, можно квантовать эту теорию и, таким образом, вернуться к гильбертову пространству квантовой механики. Таким образом, впервые была продемонстрирована полная эквивалентность корпускулярной и волновой моделей в квантовой теории⁷⁴.

С технической точки зрения, Иордан и Клейн трактовали волновую функцию *одной* частицы как *поле*, которое, в свою очередь, должно подчиняться законам квантовой механики. Их метод не только дал основные инструменты в теориях элементарных частиц, но имел также большое значение в физике твердого тела.

- 3) В октябре 1928 года Клейн и Йошио Нишина закончили свою работу⁷⁵ по комптоновскому рассеянию фотона электроном Дирака. Дуглас Хартри писал Клейну⁷⁶ о большом интересе к его работе в Кембридже, упоминая о том, что Резерфорд сослался на их работу в своем президентском обращении⁷⁷ к Королевскому обществу.

Эта работа привела к переписке с Л. Мейтнер в Берлине, которая сделала экспериментальные выводы из результатов Клейна–Нишины⁷⁸. (Какое-то время эти выводы были известны под названием эффект Мейтнер–Хупфельда⁷⁹.) После того, как стали понятны результаты, стало очевидным, что «формула Клейна–Нишины» была, фактически, главным успехом теории Дирака. И я думаю, было вполне к месту сказано, что вывод этой формулы «был, для того времени, таким же героическим поступком, как любой из расчетов радиационных поправок конца 1940-х годов, но, в отличие от многих из них, этот вывод был верным с первого раза⁶⁹».

- 4) Через два месяца Клейн стал причиной серьезного беспокойства за теорию Дирака. Как было понято в 1929 году, электроны, движущиеся в крутых мощных электрических потенциалах, казалось, отражаются таким образом, что их ускорение происходит в направлении, противоположном приложенной силе⁸⁰!

Кажется, Клейн случайно наткнулся на это странное явление, известное теперь как «парадокс Клейна»* во время своей работы с Нишиной над комптоновским рассеянием. Я делаю такой вывод из письма Паули к Бору: «Несомненно, Клейн должен немедленно опубликовать свои соображения осени [1928 года] об отражениях по теории Дирака!⁸¹» Через месяц Паули пишет Клейну: «Просто возмутительно то, что Вы до сих пор не опубликовали свои соображения по поводу любопытных отражений электронов, это указывает на Ваше недостаточно внимательное отношение к своим коллегам⁸²». Давление Паули на Клейна по поводу этой публикации исходит, конечно же, от его (Паули) мнения того времени, что теория Дирака неверна.

1929 год отличает начало достаточно стабильной переписки между Клейном и Паули, причиной которой является растущий интерес Клейна к квантовой электродинамике⁴⁹ и теории Дирака — темам, представляющим для Паули неизменный интерес. Многое из того, что Паули говорил о Клейне, до того времени было критичным. Эти замечания вызывают сомнения в том, что Паули исполнял роль совести физики, и не следует путать это с его личными чувствами. Так, в начале 1930 года Паули завершил письмо Клейну так: «Искренне Ваш, старый друг В. П.⁸³».

- 5) Пятая, и последняя, работа в этой группе копенгагенских работ, не столь известная, как предыдущие работы, впечатляет меня тем, что демонстрирует широту интересов Клейна и его разносторонность в обращении с теоретическими методами. В ней Клейн пишет о новом методе рассмотрения квантовой теории асимметричного волчка, молекулы, не имеющей симметрии относительно оси вращения⁸⁴, — классически сложная задача. Клейн рассмотрел ее с помощью принципа соответствия, продемонстрировав, что, по словам самого Клейна: «В Копенгагене склонны заявлять, что они способны «квантовать вашу бабушку»⁶⁹».

В 1929 году Клейн выдвинул свою кандидатуру на место Фредгольма в Стокгольме, которое оставалось вакантным после его

* Парадокс Клейна состоит в том, что при падении электрической волны с энергией E на потенциальный барьер с высотой $V_0 > E + mc^2$ отраженный от него поток превосходит падающий. См., например, Дж. Д. Бьеркен, С. Д. Дрелл, *Релятивистская квантовая теория*, т. 1. М.: Наука, 1978. — *Прим. ред.*

смерти в 1927 году. Зоммерфельд написал рекомендательное письмо, так же как и Бор⁸⁵, который писал, что знает Клейна с 1918 года, что еще тогда был поражен его изобретательностью, научным энтузиазмом и неустанной борьбой за решение трудных задач. Бор отмечал, что когда Клейн отправился в Соединенные Штаты, он в числе немногих других обладал прочным знанием атомной теории — как ее содержания, так и ее ограничений. Он подчеркнул, что Клейн бескорыстно помогает коллегам и ученикам. Клейн получил эту должность и в январе 1931 года поехал в Стокгольм в качестве профессора по механике и математической физике. После 1945 года он также преподавал в Институте для офицеров-артиллеристов и инженеров. В 1951 году, кроме всего прочего, он стал директором Института физики в Осло. В 1953 году он был избран членом Нобелевского комитета по физике.

Сразу после прибытия в Стокгольм Клейн получил письмо от своего хорошего друга Паули, в котором говорилось:

Ты сейчас достиг цели нашего социального класса, став *Oberbonze* [большой шишкой] в Стокгольме, и сейчас ты можешь жить как средний буржуа, не заботясь о материальном. . . Сейчас тебе нужно лишь молиться Богу этого среднего класса, чтобы он всегда охранял твой банковский счет. . . Но я вряд ли поздравил бы тебя, если бы эти перспективы были единственными, которые открывает перед тобой и твоими аспирантами профессорство в Стокгольме. В действительности, я с чистой совестью могу поздравить тебя, поскольку надеюсь, что ты исполнил наказ: «Идите и научите [все] народы»*. Большой педагогический талант всегда был одной из твоих самых сильных сторон, и в Швеции ему найдется применение. Физиков-теоретиков до сего дня в Швеции, практически, не было. . . , что не соответствовало шведской экспериментальной физике, которая блестяще представлена Манне Сигбаном и Эриком Хюльеном. Сейчас Швеция нуждается в человеке, знающем *современную* теоретическую физику, который к великой шведской школе экспериментальной физики добавит в равной мере хорошую школу теоретиков. Если тебе суждено преуспеть в этом, — на что я не только надеюсь, но что считаю вполне вероятным, — тогда тебе будет дано право быть вполне удовлетворенным и не беспокоиться более ни о Боге среднего класса, ни о пятом измерении (или подобных темах).

Это последнее замечание приводит меня к обзору твоей чисто исследовательской деятельности до настоящего момента. . . Я не думаю, что открытие новых законов природы и обозначение новых направлений — это твои сильные стороны, хотя у тебя уже выросли амбиции в этом направлении. . . Я нахожу гораздо более прекрасными те из твоих работ, которые имеют своей целью применение уже известных теорий без амбиций такого рода. Например, твоя работа

*Библ. Мф. 28:19. — *Прим. пер.*

по перекрещивающимся полям [электрическому и магнитному]³², потенциальным барьерам в теории Дирака⁸⁰, твоя работа с Нишиной по выводу новой формулы рассеяния⁷⁵ и т.п. . . Пусть этот ряд работ будет еще долго и успешно продолжаться (*несмотря* на профессорскую деятельность, на которую тоже требуется время).

Это мудрое письмо, написанное с присущей Паули откровенностью, дало нам оценку ровесника Клейна — хотя вы, возможно, не знаете, что Паули был на 6 лет моложе — его сильных и слабых сторон, а также оценку шведской школы физики. Из всех писем, которыми Паули и Клейн обменивались на протяжении четверти века, это — самое прекрасное.

В первые годы после своего прибытия в Стокгольм, Клейн продолжал свою замечательную работу в различных областях физики. Сначала, в 1931 году, вышла его фундаментальная работа⁸⁷ по молодой дисциплине квантовой статистической механики (ее начало положено в конце 1920-х годов). Преобразуя выражение энтропии, чтобы оно учитывало квантово-механическое соотношение неопределенностей, он открыл квантово-механическую версию второго закона термодинамики. Его доказательство сейчас называется леммой Клейна (но мнение Клейна, что термодинамическая необратимость имеет квантовое происхождение, неверно).

В 1930 году Клейн работал над выводом внутримолекулярного потенциала двухатомных молекул из спектроскопических данных⁸⁸, улучшая и значительно расширяя ранее полученные результаты. Этот метод, все еще широко применяемый в спектроскопическом анализе, сейчас называется RKR-методом⁸⁹.

В 1933 году он разработал рекурсивный метод для одномерных квантово-механических задач, дающий квазиклассический ответ в первом приближении⁹⁰.

В те годы Клейн продолжал поддерживать тесный контакт с Бором. В 1931 году он выслал Бору свою работу по второму закону термодинамики⁹¹; между тем Бор попросил Клейна присоединиться к нему в качестве оппонента на защите диссертации Кристианом Мёллером. В 1932 году Клейн поблагодарил Бора за почетную копенгагенскую конференцию⁹³, а в декабре провел несколько недель с Бором в Карлсберге⁹⁴.

В 1933 году Клейн писал Бору: «Мы в Швеции тоже обеспокоены вселяющими ужас сообщениями из Германии⁹⁷». Клейн даже подумывал о том, чтобы переехать с семьей в США⁶⁹. Письма того периода говорят о его попытках помочь бежавшим

физикам⁹⁸. Одним из них был Вальтер Гордон, бывший профессор физики в Гамбурге до его увольнения в 1933 году. Клейн помог достать средства, чтобы Гордон смог поселиться в Стокгольме. Там он и умер в 1939 году «после продолжительной и тяжелой болезни»⁹⁹. Клейн был также другом Лизы Мейтнер, еще одной немецкой эмигрантки, осевшей в Стокгольме.

Исследования Клейна в конце 1930-х годов привели к двум памятным результатам. Первый: так называемое преобразование Клейна, утверждающее, что можно свободно делать независимые ферми-поля коммутирующими или антикоммутирующими. Второй: в работе⁵⁴, представленной в Варшаве в 1938 году, он предвосхитил некоторые, но не все, аспекты теории Янга–Миллса 1954 года. (К несчастью, представлению этих аспектов мешают элементы его идей по пятимерности.) Он спрашивал в письме Бора, нельзя ли опубликовать работу в *Physical Review*. «Поскольку тема представляет интерес уже сегодня, я не должен тянуть с публикацией¹⁰¹». Я не видел ответа Бора. Увы, эта важная работа много лет была только докладом на конференции. В это же время Клейн написал свой проникновенный некролог по случаю смерти Эренфеста¹⁰² и первую статью на историческую тему — о дебатах между физиками и философами в XIV веке¹⁰³.

После начала второй мировой войны Бор сумел (в 1940 году) навестить Клейнов в Стокгольме¹⁰⁴, но попытка вытащить Клейна в Копенгаген провалилась¹⁰⁵. Я уже где-то писал о том, что Клейн в 1943 году помог Бору бежать в Швецию.

В 1946 году, через год после окончания войны я встретился с Клейном и его женой, красивой и жизнерадостной женщиной, в доме Нильса Бора. Моим первым впечатлением о нем было то, что он мягкий и добрый человек, возможно, немного застенчивый. Единственным другим воспоминанием об этой встрече была дружеская беседа.

Вновь я встретил Клейна в 1949 году в Институте перспективных исследований в Принстоне, когда он провел там осенний семестр в качестве приглашенного профессора. (В то время я и сам занимал там профессорскую должность.) За эти месяцы мы не раз подолгу беседовали. В результате этих бесед я узнал его гораздо лучше. В частности, мне вспоминается, с каким удовольствием он рассказывал о своей встрече с Эйнштейном.

Клейну было 50, когда закончилась война. К тому времени перед ним лежала его лучшая работа, и это естественно. Кроме того, после 1940 года он написал более 30 работ. По моему мнению, лучшей является его короткая статья 1948 года по вопросу простого соотношения между β -распадом и распадом недавно открытого мюона¹⁰⁷.

Поздние темы его работ поразительно отличаются от тех, по которым он публиковался ранее. Так, в наиболее полной библиографии его работ¹⁰⁸ мы находим работы по сверхпроводимости¹⁰⁹, биохимии¹¹⁰, физике элементарных частиц¹¹¹, по проблемам в общей теории относительности¹¹², эволюции звезд¹¹³ и космологии; отмечу его модель, разработанную совместно с Х. Альфеном (Hannes Alfvén)¹¹⁴.

Клейн писал и на другие темы: популярные статьи на тему ядерной физики¹¹⁵; атомная энергия после войны¹¹⁶; в честь Бора на его 50-летний, 60-летний и 70-летний юбилей¹¹⁷; нежный некролог, посвященный Паули, который умер в 1958 году («Неожиданная смерть Паули стала тяжелым ударом для всех стран, где занимаются теоретической физикой²⁵»). Его интерес к истории проявился в статьях, посвященных ученому XIII века Иорданусу Немерариусу¹¹⁸; науке XVII века — об этой статье уже говорилось¹⁰³ в статье о Ньюtone¹¹⁹ и о Паскале в сравнении с Бором^{120,121}. Его сохранившийся на протяжении всей жизни интерес к биологии выразился, например, в статье «Биология и атомная физика», которую он написал для *Svenska Dagbladet* 11 января 1933 года. (В ней рассматриваются идеи Бора о принципе дополненности применительно к биологии, уже устаревшие.)

В середине жизни Клейн писал на философские темы¹²². Его, в частности, заинтересовали возможные аналогии между наукой и религией. «Он хотел показать, что физические концепции причинности имеют отношение, и даже параллели, в области этики и религии... Библейская этика в высшей степени относительна, говорил Клейн¹²³». По словам Клейна: «Мы имеем формальную эквивалентность между библейским требованием равных прав для всех людей и требованием принципа относительности, чтобы роль всех наблюдателей была равнозначно независима от их состояния движения, параллель так близка, как только можно пожелать¹²⁴». Эти идеи заставили Бора выразить свое несогласие¹²⁵ с мнением Клейна относительно Библии и современной науки. (Я поддерживаю Бора в этом отношении.)

Несколько завершающих замечаний.

Клейн и Паули переписывались до ноября 1955 года, насколько я знаю, и незадолго до смерти Паули в 1958 году. Среди множества его писем я выбрал несколько, которые мне кажутся наиболее интересными.

4 декабря 1930 года Паули написал свое знаменитое письмо на встречу физиков в Тюбингене, в котором он предложил то, что получило название гипотезы нейтрино¹²⁶. О его близости Клейну в те годы говорит тот факт, что следующим письмом на эту тему было письмо Клейну, отосланное через неделю. В нем Паули в первый раз выражал свои мысли относительно сил, действующих на эту гипотетическую частицу¹²⁷.

В 1930-е годы сам Паули проявил активный интерес к многомерной теории относительности. В 1933 году он опубликовал альтернативную версию на тему пяти измерений, известную как проективная теория относительности¹²⁸. В 1935 году он писал Клейну: «Я не могу решить, стоит ли верить в то, что весь этот формализм должен быть несущественным и физически бессмысленным¹²⁹».

В 1953 году Паули еще раз вернулся к идее многих измерений. На этот раз с моей подачи. На конференции в Лейдене (22–26 июня 1953 года) я доложил о своей недавней работе по *шестимерной* теории¹³⁰. Детали сейчас не важны, но я хочу сказать, что Паули, который тоже был в Лейдене, очень заинтересовался моим докладом. Это видно из его замечания¹³¹, которое он высказал в письме Клейну, вернувшись в Цюрих: «Если в этой идее что-то есть, тогда твои [пять измерений] содержатся в качестве подпространства в этом шестимерном пространстве, и тогда устанавливается связь Калуца — Клейн — Пайс¹³²». Тем летом Паули интенсивно работал над этим шестимерным предположением¹³³. Последнее замечание по этому поводу Клейна, которое я читал, находится в сохранившемся в архиве Нильса Бора черновике письма Клейна от 8 июня 1954 года: «Я хочу найти функцию Лагранжа, которая содержит лучшие стороны пятимерной теории без ее недостатков».

В последнем письме Клейну Бор благодарил его за поздравления со своим 75-летием¹³⁴. Клейн, в своем последнем письме Бору, желает ему всего хорошего в 1961 году¹³⁵. Бор умер в 1962 году. Клейн написал некролог, который можно назвать официальным шведским некрологом. «Он был одним из величайших творцов новой физики, а также одной из самых великих личностей нашего времени¹³⁶».

В 1962 году Клейн отошел от профессорской деятельности, но продолжал активно заниматься наукой. В 1965 году он получил почетную степень от Копенгагена. В последний год жизни Клейн

начал заговариваться. 5 февраля 1977 года он умер от старости, ему было 82 года¹³⁷. Клейн был одним из самых выдающихся шведских физиков.

Когда в 1969 году Клейн подводил итог своей научной деятельности, он сказал: «Изучение истории науки — но не истории философии — показывает, что естественной позицией ученого является вдохновение великими предшественниками, так же как и они были вдохновлены теми, кто был до них. Но всегда нужно оставлять за собой свободу сомневаться, когда есть причины для сомнений⁵».

Библиография и примечания

Ниже аббревиатура NBA означает Архив Нильса Бора в Копенгагене.

1. O. Klein, интервью с T. S. Kuhn and J. L. Heibron, September 25, 1962, NBA.
2. O. Klein and J. Runnstrom, *Ark. f. Kemi, Mineralogi och Geologi* **14A**, No. 4, 1940, under the byline Wenner-Grens Institute for Experimental Biology.
3. O. Klein, Reports from the Nobel Institute **2**, No. 18, 1912; see also *Z. Anorg. Chem.* 1917, p.157.
4. O. Klein, Reports from the Nobel Institute **3**, No. 24, 1917.
5. O. Klein, in *From a Life in Physics*, p. 59, Supplement of the IAEA Bulletin, printed by the IAEA in Vienna, 1969. Reprinted in *The Oskar Klein Memorial Lectures* (G. Ekspong, Ed.), p. 103, World Scientific, Singapore 1991.
6. O. Klein and O. Svanberg, Reports from the Nobel Institute **4**, No. 1, 1918.
7. N. Bohr, письмо к O. Klein, April 5, 1918, NBA.
8. O. Klein, письмо к N. Bohr, April 8, 1918, NBA.
9. O. Klein, *Phil. Mag.* **37**, 207, 1919.
10. O. Klein, письмо к N. Bohr, September 9, 1918, NBA.
11. O. Klein, Reports from the Nobel Institute **5**, No. 6, 1919.
12. N. Bohr, письмо к O. Klein, October 23, 1918, NBA.
13. O. Klein, письмо к N. Bohr, May 19, 1919, NBA.
14. O. Klein, in *Niels Bohr* (S. Rozental, Ed.), p. 74, North-Holland, Amsterdam, 1967.
15. N. Bohr. письмо к O. Klein. December 18. 1919. NBA.

16. N. Bohr, писъмо к O. Klein, January 12, 1920, NBA.
17. O. Klein, писъмо к N. Bohr, December 23, 1920, NBA.
18. J. Franck and G. Hertz, *Verh. Deutsch. Phys. Ges.* **15**, 34, 373, 613, 929, 1913; **16**, 12, 457, 512, 1914; **18**, 213, 1916.
19. Ref. I, interview on February 20, 1963.
20. O. Klein and S. Rosseland, *Zeitschr. f. Physik* **4**, 46, 1920.
21. I. S. Bowen, *Nature* **120**, 473, 1927.
22. O. Klein, *Ark f. Mat. Astr. och Fys.* **16**, 1, 1921.
23. Ref. I, interview on February 25, 1963.
24. N. Bohr, писъмо к O. Klein, July 3, 1922, NBA.
25. O. Klein, *Kosmos* **37**, 9, 1959.
26. O. Klein, *Kosmos* **2**, 54, 1922; **3**, 72, 1923.
27. O. Klein, *Svensk kemisk Tidskr.* **35**, 157, 1923.
28. O. Klein, *Nordisk Tidskr.* **46**, 446, 1923.
29. O. Klein, писъмо к N. Bohr, November 20, 1922, NBA.
30. N. Bohr, May 1, 1923, no addressee, NBA.
31. N. Bohr, писъмо к O. Klein, January 31, 1924, NBA.
32. O. Klein, *Zeitschr. f. Physik* **22**, 109, 1924.
33. O. Klein, писъмо к N. Bohr, May 6, 1924, NBA.
34. O. Klein, *Phys. Rev.* **25**, 109, 1925.
35. N. Bohr, H. Kramers, and J. Slater, *Phil. Mag.* **47**, 705, 1924.
36. O. Klein, писъмо к N. Bohr, June 30, 1924, NBA.
37. O. Klein, писъмо к H. A. Kramers, August 24, 1924, NBA.
38. O. Klein, *Vad vi veto om ljuset* (What we know about light), *Natur och Kultur* 41-2, 1925.
39. A. Einstein, писъмо к Th. Kaluza, April 21, 1919.
40. A. Einstein, писъмо к Th. Kaluza, May 5, 1919.
41. T. Kaluza, *Verh. Preuss. Ak. der Wiss.* 966, 1921.
42. O. Klein, *Zeitschr. f. Physik* **37**, 895, 1926. Перевод на англ. в *The Oskar Klein Memorial Lectures*, ref. 5, p. 67.
43. O. Klein, *Nature*, **118**, 516, 1926. Перевод на англ. в *The Oskar Klein Memorial Lectures*, ref. 5, p. 81.
44. A. Einstein. писъмо к P. Ehrenfest. September 3. 1926.

45. A. Pais, *Subtle is the Lord*, chapter 17, section (b), Oxford University Press, London, 1982.
46. Ref. 1, interview on July 16, 1963.
47. O. Klein, письмо к N. Bohr, June 22, 1926, NBA.
48. G. E. Uhlenbeck and P. Ehrenfest, *Zeitschr. f. Physik* **39**, 495, 1926.
49. O. Klein, *Zeitschr. f. Physik* **41**, 407, 1927.
50. W. Pauli, письмо к N. Bohr, March 29, 1927. Перепечатано W. Pauli, *Scientific Correspondence*, Vol. 1, p. 389, Springer, New York, 1979.
51. W. Pauli, письмо к N. Bohr, August 6, 1927, ref. 50, p. 402.
52. O. Klein, *Zeitschr. f. Physik* **46**, 188, 1927.
53. O. Klein, *Arkiv Mat. Astr. och Fysik* **25A**, No. 15, 1936.
54. O. Klein, in *Les Nouvelles theories de la physique*, p. 77, Nyhoff, The Hague, 1939. Перевод на АНГЛ. в *The Oskar Klein Memorial Lectures*, ref. 5, p. 85.
55. O. Klein, *Nucl. Phys.* **4**, 677, 1957.
56. O. Klein, письмо к N. Bohr, June 17, 1925, NBA.
57. O. Klein, письмо к N. Bohr, September 17, 1925, NBA.
58. Mrs G. Klein, письмо к N. Bohr, December 20, 1925, NBA.
59. O. Klein, письмо к N. Bohr, January 23, 1926, NBA.
60. W. Heisenberg, *Physics and Beyond*, p. 73, Harper and Row, New York, 1971.
61. W. Heisenberg, интервью с T. S. Kuhn, February 25, 1963, NBA.
62. Ref. 60, p. 77.
63. O. Klein, интервью с L. Rosenfeld and J. Kalckar, November 7, 1968, NBA.
64. O. Klein, ref. 14, p. 88.
65. W. Heisenberg, ref. 14, p. 106.
66. H. Bohr, ref. 14, p. 335.
67. Samples: O. Klein, письмо к C. Darwin, November 3, 1927; to E. Schrödinger, December 10, 1930, NBA.
68. M. Dresden, H. A. Kramers, p. 481, Springer, New York, 1987.
69. S. Deser, in *Proceedings of The Oskar Klein Centenary Symposium* (U. Lindstrom, Ed.), p. 49, World Scientific, Singapore, 1995.
70. W. Gordon, *Zeitschr. f. Physik* **40**, 117, 1927.
71. See A. Pais. *Inward Bound*. n. 289. Oxford University Press. 1986.

72. P. Jordan and O. Klein, *Zeitschr. f. Physik* **45**, 751, 1927.
73. Некоторое время спустя Иордан и Вигнер разработали метод вторичного квантования для систем, подчиняющихся статистике Ферми–Дирака, P. Jordan and E. P. Wigner, *Zeitschr. f. Physik* **47**, 631, 1928.
74. W. Heisenberg, in *Niels Bohr and the Development of Physics* (W. Pauli, Ed.), p. 15, McGraw-Hill, New York, 1955.
75. O. Klein and Y. Nishina, *Nature* **122**, 398, 1928; *Zeitschr. f. Physik* **52**, 853, 1929.
76. D. Hartree, письмо к O. Klein, December 20, 1928, NBA.
77. E. Rutherford, *Proc. Roy. Soc.* **A122**, 1, 1929.
78. L. Meitner, letters to O. Klein, January 29, May 9, June 16, 1930, NBA.
79. See L. Brown and D. Moyer, *Am. J. Phys.* **52**, 130, 1984.
80. O. Klein, *Zeitschr. f. Physik* **53**, 157, 1929. Этот эффект возникает, когда электрон сталкивается с потенциальным барьером, высота которого изменяется более чем на mc^2 на расстоянии порядка h/mc .
81. W. Pauli, письмо к N. Bohr, January 16, 1929, ref. 50, Vol. 1, p. 485.
82. W. Pauli, письмо к O. Klein, February 18, 1929, ref. 50, Vol. 1, p. 488.
83. W. Pauli, письмо к O. Klein, February 10, 1930, ref. 50, Vol. 2, p. 2.
84. O. Klein, *Zeitschr. f. Physik* **58**, 730, 1929. Эта задача была решена ранее H. A. Kramers and G. P. Ittman, *Zeitschr. f. Physik* **53**, 553, 1929.
85. Я цитирую по черновику Бора, датированному 6 февраля, 1929 г., за которым последовал сокращенный вариант от 12 февраля, 1929 г., оба из архива Нильса Бора.
86. W. Pauli, письмо к O. Klein, December 12, 1930, ref. 50, Vol. 2, p. 43.
87. O. Klein, *Zeitschr. f. Physik* **52**, 767, 1931.
88. O. Klein, *Zeitschr. f. Physik* **76**, 226, 1932.
89. После Р. Ридберга, юного шведа, сделавшего первые шаги [*Zeitschr. f. Physik* **73**, 376, 1931] Клейн и А. Л. Г. Рис ввели дальнейшие модификации.
90. O. Klein, *Zeitschr. f. Physik* **80**, 792, 1933; also *Proceedings of the Scandinavian Mathematical Congress* 1934, p. 243.
91. O. Klein, письмо к N. Bohr, July 21, 1931, NBA.
92. N. Bohr, письмо к O. Klein, February 19, 1931, NBA.
93. O. Klein, письмо к N. Bohr, May 14, 16, 1932, NBA.
94. O. Klein, письмо к N. Bohr, January 3, 1933, NBA.

95. O. Klein, 'Relativitetsteori,' *Natur och Kultur*, No. 118, 1933; ПИСЬМО к N. Bohr, June 17, 1934, NBA.
96. O. Klein, 'Orsak och Verkan' *Natur och Kultur*, No. 126, 1935; ПИСЬМО к N. Bohr, January 28, 1935, NBA.
97. O. Klein, ПИСЬМО к N. Bohr, June 20, 1933, NBA.
98. See also F. Aaserud, *Redirecting Science*, p. 117, Cambridge University Press, 1990.
99. O. Klein, ПИСЬМО к W. Pauli, October 1940, ref. 50, Vol. 3, p. 40.
100. O. Klein, *J. de Physique* **9**, 1, 1938.
101. O. Klein, letters to N. Bohr, June 30, 1938; also May 23, 1938, NBA.
102. O. Klein, *Kosmos* **11**, 15, 1935.
103. O. Klein, *Lychnos*, p. 136, Uppsala, 1939.
104. N. Bohr, ПИСЬМО к O. Klein, December 16, 1940, NBA.
105. N. Bohr, letters to O. Klein, June 6, 1941, February 7, 1942; O. Klein, letters to N. Bohr, June 25 and December 21, 1941, NBA.
106. A. Pais, *Niels Bohr's Times*, chapter 21, section (c), Oxford University Press, 1991.
107. O. Klein, *Nature* **161**, 897, 1948.
108. *Proceedings of the Oskar Klein Centenary Symposium*, ref. 69, p. 203.
109. O. Klein, *Ark. Mat. Astr. och Fys.* **33B**, No. 2, 1945; with J. Lindhard, *Rev. Mod. Phys.* **17**, 305, 1945; *Nature* **169**, 578, 1952; *Ark. f. Fys.* **5**, 459, 1952.
110. O. Klein, *Ark. Kemi*, **14A**, 1, 1940.
111. O. Klein, *Teknisk Tidskr.* (Stockholm), **69**, 137, 1939; *Ark. Mat. Astr. och Fys.* **30A**, No. 3, 1943; **34A**, No. 1, 1946; *Nature* **161**, 897, 1948; in *Zur Theorie der Elementarteilchen*, p. 1, Mosbach, Baden, 1949; *Ark. f. Phys.* **16**, 191, 1959; *Phys. Rev. Lett.* **16**, 63, 1966.
112. O. Klein, *Elementa* **18**, 9, 1935; *Rev. Mod. Phys.* **21**, 531, 1949; *Ark. f. Fys.* **7**, 487, 1954; *Helv. Phys. Acta Supplement.* **4**, 58, 1956; *Nuov. Cim.* **6**, 344, 1957; *Norsk. Vid. Forh.* **31**, 47, 1958; *Ark. f. Fys.* **17**, 517, 1960; in *Festschrift Heisenberg*, p. 58, Vieweg, Braunschweig; in *Recent Developments in General Relativity*, p. 293, Pergamon, New York, 1962; *Astrophys. Norv.* **9**, 161, 1964; *Nucl. Phys.* **21B**, 253, 1970.
113. O. Klein, *Ark. Mat. Astr. och Fys.* **31A**, No. 14, 1944; **33B**, No. 1, 1945; **34A**, No. 19, 1947.
114. O. Klein and H. Alfvén, *Ark. f. Fys.* **23**, 187, 1962; H. Alfvén, *Set. Am.* April 1967, p. 106; O. Klein, *Nature* **211**, 1337, 1966; *Ark. f. Fys.* **39**, 157, 1969; *Science* **171**, 339, 1971.

115. O. Klein, *Kosmos* **14**, 7, 1936; in *Vetenskap av i dag*, p. 247, Gebers, Stockholm, 1940; in *Vi och vår värld*, p. 327, Stockholm, 1941.
116. O. Klein, *Industrietidn. Norden* **74**, 23, 35, 45, 1946.
117. O. Klein, *Fys. Tidskr.* **33**, 102, 1935 (50th); *Nordisk Tidskr.* **11**, 408, 1935 (50th); *Fra Fysikkens Verden*, Oslo, 1945, p. 110 (60th); *Festschrift*, p. 18, North-Holland, 1945 (60th); *Niels Bohr and the Development of Physics*, ref. 74, Pergamon, 1955 (70th); 'Et in Arcadia ego (70th), unpublished manuscript, NBA.
118. O. Klein, *Nucl. Phys.* **54**, 345, 1964.
119. O. Klein, *Kosmos* **20**, 116, 1942.
120. O. Klein, *Lychnos*, Uppsala, 1942, p. 65; *Fys. Tidskr.* **60**, 65, 1962.
121. See also O. Klein, *Nucl. Phys.* **57**, 345, 1964.
122. O. Klein, *Nordisk Tidskr. Vet. Konst och Industri* **10**, 489, 1934; **19**, 465, 1943; *Theoria*, 1938, p. 59. See also ref. 28.
123. K. Jonsson, in *Center on the Periphery*, p. 16, Watson, Canton, MA, 1993.
124. O. Klein, *Ord och Bild*, p. 471, Stockholm, 1941.
125. N. Bohr, письмо к O. Klein, March 6, 1940, NBA.
126. Ref. 50, Vol. 2, p. 39.
127. W. Pauli, письмо к O. Klein, December 12, 1930, ref. 50, Vol. 2, p. 43.
128. W. Pauli, *Ann. de Phys.* **18**, 305, 337, 1933. Reprinted in *Collected Scientific Papers by Wolfgang Pauli* (R. Kronig and V. Weisskopf, Eds), Vol. 2, p. 630, Wiley, New York, 1964.
129. W. Pauli, письмо к O. Klein, July 18, 1935; also August 8, 1935, ref. 50, Vol. 2, pp. 423, 424.
130. A. Pais, *Physica* **19**, 869, 1953.
131. W. Pauli, *Physica* **19**, 887, 1953.
132. W. Pauli, письмо к O. Klein, July 14, 1953, ref. 50, Vol. 4.
133. A. Pais, *A Tale of Two Continents*, chapter 23, section 1, Oxford and Princeton University Presses, 1997.
134. N. Bohr, письмо к O. Klein, October 27, 1960, NBA.
135. O. Klein, письмо к N. Bohr, December 22, 1960, NBA.
136. O. Klein, *Kung. Vetenskaps-Societetens Årsbok* 1963, p. 33, Almquist, Uppsala, 1964.
137. См. некрологи S. Deser, *Phys. Today* June 1977, p. 67; C. Møller, *Fys. Tidskr.* **75**, 169, 1977; I. Fischer Hjalmar, and B. Laurent, *Kosmos* 1978, p. 19. Английский перевод см. в *The Oskar Klein Memorial Lectures*, ref. 5, p. 1.