

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОНД ИСТОРИИ НАУКИ

Ю. А. Храмов

**ИСТОРИЯ
формирования
и развития
ФИЗИЧЕСКИХ
ШКОЛ
на УКРАИНЕ**

Киев МП "Феникс" 1991

УДК 53(091)

**История формирования и развития физических школ на Украине / Храмов Ю.А.; Отв. ред. Ахиезер А.И.; Киев: МП "Феникс", 1991. — 216 с.
ISBN 5-87534-001-0**

В монографии впервые раскрыта история развития физики на Украине через ведущие физические школы. Дан историко-научный анализ формирования и развития школ, созданных Л.В.Шубниковым, Л.Д.Ландау, И.М.Лифшицем, И.В.Обреимовым, Н.Н.Боголюбовым, А.И.Ахиезером, К.Д.Синельниковым, А.А.Слущкиным, В.Е.Лашкаревым, С.И.Пекаром, Н.Д.Моргулисом, Б.И.Веркиным и др., их вклад в отечественную и мировую науку. Реконструированы творческие портреты основателей этих школ с широким использованием воспоминаний и отзывов их учеников и коллег. Введен научный оборот ряд новых фактов из истории физики Украины, выполнены некоторые уточнения.

Для всех, кто интересуется историей отечественной науки и культуры.

Ответственный редактор
академик АН Украины А.И.АХИЕЗЕР

Школа физической
электроники
Н.Д.Моргулиса

Исследования в области физической электроники на Украине в значительной мере связаны с именем известного физика члена-корреспондента АН Украины Наума Давидовича Моргулиса (1904—1976). Начатые им еще в 1927 г. на Киевской научно-исследовательской кафедре физики, они были успешно продолжены и значительно расширены в Институте физики АН Украины и Киевском университете. В институте Н.Д.Моргулиса длительное время возглавлял отдел физической электроники, в 1932 г. в университете им была создана соответствующая специализация, а в 1937 г. — кафедра электрофизики, преобразованная в 1952 г. в кафедру физической электроники, которой он руководил до последних дней.

Уже в 30-х годах в Киеве сложился крупный научный центр в области катодной электроники и начала формироваться научная школа Моргулиса, окончательное становление которой приходится на 40—50-е годы. Безусловно, этому способствовала сама личность Н.Д.Моргулиса — человека высокой научной репутации, широкого круга интересов, эрудиции, обладающего тонким чувством нового, педагогическим дарованием. Его черты ученого, человека и учителя, стиль научной и педагогической деятельности раскрывают его ученики, отзываясь о нем с большой любовью и признательностью, что позволяет воссоздать обстановку 40—50-х годов и тем самым проследить генезис сформированной им школы.

"Наум Давидович не производил при первом знакомстве яркого впечатления, — пишет Н.Т.Находкин. — Он был ниже среднего роста, одно плечо выше другого, лысоват, всегда носил сильные очки, которые снимал при чтении мелконапечатанного текста. Разговаривал резко, но очень четко выговаривая отдельные слова. Однако при всей внешней резкости поведения чувствовалось, что Наум Давидович легко ранимый, с трудом вступающий в контакт с незнакомыми людьми, человек. Его резкость в общении была своеобразным защитным средством, с помощью которого он преодолевал свою застенчивость и беззащитность перед собеседником. Плохая дикция также не

способствовала вначале хорошему общению. Однако на лекциях Наум Давидович преобразался. Фразы были простыми и понятными, логика безупречна, примеры наглядными. Создавалось впечатление, что лекцию читает совсем другой человек.

Наум Давидович был не только хорошим лектором, но и хорошим педагогом. Он регулярно устраивал добровольно принудительные консультации и коллоквиумы, требовал определенной культуры ведения конспектов. Получив у него на экзамене отличную оценку, не представив конспект с дополнительно проработанным материалом по курсу, было невозможно. Дополнительный материал можно было почерпнуть лишь из периодической, чаще всего зарубежной литературы, так как в курсе налагались самые свежие данные. Таким образом работа над курсом физической электроники стимулировала освоение иностранных языков. Экзамен принимался очень строго, но студенты не обижались.

Большое внимание уделялось лабораторному практикуму. Лабораторные работы, как правило, повторяли сложные исследования, опубликованные в периодической печати. Студенту вручали план выполнения работы и список литературы. В лаборатории можно было работать неограниченное время, в том числе ночью. Это была прекрасная школа лабораторного мастерства, и студенты быстро "взрослели".

Интересным видом обучения были семинарские занятия, на которых студенты докладывали опубликованные в периодической печати оригинальные исследования. Роль преподавателя сводилась на этих занятиях к тому, чтобы направлять дискуссию в нужное русло. Если выяснялось, что докладчик не подготовился к выступлению, то семинар прерывался и доклад переносился на следующее занятие. Семинарские занятия строились так же, как и научные семинары кафедры и отдела Института физики. Научные семинары были настоящей школой ведения дискуссий, культуры общения, методов познания физических истин, человеческих взаимоотношений. Наум Давидович был настоящим руководителем семинара. Он заранее знакомился с материалами, которые выносились на обсуждение, поэтому его замечания были профессионально убедительными и уместными. Поражала блестящая память и эрудиция Наума Давидовича.

На семинарах никто не сдерживал. Можно было задавать любые вопросы. Считалось, что плохих вопросов нет, а есть лишь плохие ответы. Эта обстановка непринужденности облегчала участие студентов в научных семинарах. На семинарах обсуждались не только результаты собственных законченных работ, но и наиболее интересные новости, опубликованные в периодической печати, за которыми Н.Д.Моргулиса очень внимательно следил.

Он также очень внимательно изучал человеческие качества каждого будущего своего сотрудника и, если они оказывались недостаточно высокими, то никакие силы не могли "вскрыть" этого сотрудника в коллектив.

В зависимости от степени инициативности сотрудника или ученика ему формулировалось подробно в той или иной степени лишь

общее направление исследований. Сотрудник сам уточнял тему, методику и последовательность проведения исследований.

Очень важной особенностью семинаров был открытый характер дискуссий. Сотрудники не боялись высказывать свои идеи, потому что ни одна публикация не уходила в печать без коллективного обсуждения существа работы и авторского вклада отдельных авторов. Сотрудники не боялись плагиата.

Важным моментом было также и то, что каждый член коллектива обязан был участвовать в учебном процессе. Это обстоятельство способствовало выработке самодисциплины, устраняло негативные черты деления членов коллектива на преподавателей и научных сотрудников*.

Приведенную выше характеристику Н.Д.Моргулиса дополняет Ю.Г.Птушинский: "Н.Д. был блестящим лектором и весьма требовательным педагогом. Его лекции по физической электронике были исключительно интересными и посещались студентами с энтузиазмом. С периодичностью в две недели он устраивал так называемые консультации с обязательным посещением их всеми студентами кафедры. На этих консультациях он устраивал поголовную проверку усвоения читаемого им курса лекций. Это один из существенных элементов его методики преподавания.

Обстановка на кафедре царил творческая и для нее была характерна напряженная лабораторная работа студентов (особенно дипломников) и аспирантов. Такая обстановка тогда была свойственна как для кафедры, так и для отдела физической электроники в Институте физики, которым также руководил Н.Д.Моргулис.

К началу 50-х годов Н.Д.Моргулисом была уже создана школа физической электроники, ее работы отличались высоким идейным и экспериментальным уровнем и получили широкую известность. Признаком оформляющейся школы было проведение в Киеве еще в довоенном 1940 г. Всесоюзной конференции по катодной электронике.

Для Н.Д.Моргулиса была характерна широта научных интересов и соответственно в Институте физики и КГУ выполнялся довольно широкий спектр работ в области электроники (физика оксидного катода, фотоэлектроника, вторичная электронная эмиссия, электронно-адсорбционные процессы на поверхности, физика низкотемпературной плазмы). В нем было сильно развито чувство нового, научная интуиция, что позволяло ему своевременно формулировать и ставить актуальные исследования. Так было с исследованиями по физике поверхности. В Киеве они начались по инициативе Моргулиса в 50-х годах, когда их престиж как в СССР, так и в мире был не очень высок. С середины 60-х годов это направление получило бурное развитие во всех развитых странах, благодаря заделам и подготовленным кадрам (в основном учениками Н.Д.Моргулиса) их уровень в киевской школе признан весьма высоким**.

Киевскую школу физической электроники представляют академик АН Украины Н.Г.Находкин, члены-корреспонденты АН Украины П.Г.Борзяк, А.Г.Науумовец, Ю.Г.Птушинский, доктора наук М.Д.Габо-

вич, Д.А.Городецкий, Я.П.Зингерман, С.М.Левитский, Л.Л.Пасечник, Г.Я.Пикус, а также В.М.Гаврилюк, П.М.Марчук и др. Школой внесен большой вклад в эмиссионную электронику и физику низкотемпературной плазмы [1—5].

В 30-е годы Н.Д.Моргулисом были достигнуты значительные успехи в исследовании поверхности ионизации и нейтрализации. В 1934 г. он независимо от А.И.Ансельма и Р.Гёрни разработал одну из первых квантовомеханических теорий поверхности ионизации [6]. Им было обнаружено влияние электрического поля на процесс поверхности ионизации, обосновано представление о катодном распылении и вторичной ионно-электронной эмиссии как о неравновесных процессах [7], построена одна из первых теорий катодного распыления, разработан (1939) ионный проектор — первый предшественник автономного микроскопа, позволивший рассмотреть поверхность структуры торированного вольфрама. Начаты исследования физических процессов в эффективных катодах различных типов. Уже на раннем этапе были развиты правильные представления об эмиттерах как объектах с полупроводниковыми свойствами. Идея о полупроводниковой природе эффективных эмиттеров, высказанная впервые Н.Д.Моргулисом в 1936 г. применительно к оксидному катоду, получила в его работах и работах его учеников, в частности П.Г.Борзяка, всестороннее экспериментальное обоснование и сыграла решающую роль в эффективных эмиттерах электронов [8].

П.Г.Борзяк впервые доказал объемный характер фотоэлектронной эмиссии из серебряно-кислородно-цезиевых катодов, определил их энергетическую структуру и состав, а также структуру и состав сурьмяно-цезиевого катода [9]. На примере последнего им было обнаружено явление компенсации проводимости того или иного знака в полупроводнике при введении в него донорной или акцепторной примеси. В 1940 г. обнаружил явление длительного сохранения проводимости после выключения засветки ("замороженная проводимость") [10].

Незадолго до начала войны была разработана так называемая методика клина, получившая развитие в послевоенных исследованиях фото- и вторичной электронной эмиссии, с помощью которой определены оптические константы фотокатодов и длины пробега электронов в них (Н.Д.Моргулис, П.Г.Борзяк, Б.И.Дятловича) [11].

С 1936 г. Н.Д.Моргулис начал изучение оксидных катодов и получил ряд важных результатов. В 1938 г. он совместно с А.Т.Нагорским обнаружил резкое возрастание вторичной эмиссии из оксидных катодов при повышении их температуры [12,13].

В 1941 г. разработана и впервые применена для изучения полупроводниковой природы оксидных катодов зондовая методика (Н.Д.Моргулис, П.А.Зельцман). Она заключалась во введении в тонкий слой катода двух или трех зондов, что сразу позволяло обнаружить запорный слой на границе слоя катода подложки. Прерванные войной, эти работы уже в 1948—1949 гг. завершились разработкой электронно-оптической методики определения и изучения полного

сопротивления слоя катода, давшей возможность установить наличие у него особого приповерхностного слоя повышенного сопротивления, ответственного в основном за его эмиссионные свойства (Н.Д.Моргулис, Я.П.Зингерман) [14].

В начале 50-х годов Н.Д.Моргулис сформулировал плодотворную концепцию влияния особенностей зонной структуры полупроводников на эмиссионные эффекты. Она стимулировала развитие исследований эмиссионных явлений в полупроводниках и привела Н.Д.Моргулиса к созданию теории эффекта Шоттки для полупроводников, в рамках которой получена формула для уменьшения внутренней работы полупроводника в электрическом поле (формула Моргулиса). Эта концепция облегчила понимание работы термо-, фотоэлектронных, вторично-электронных и автоэлектронных катодов и привела к созданию теории туннельной эмиссии полупроводников.

В дальнейшем для изучения процессов в оксидных слоях и других соединениях типа A^2B^4 Г.Я.Пикус в Киевском университете разработал высоковакуумную масс-спектрометрическую методику [15]. Это позволило начать систематические исследования кинетики термической диссоциации и испарения компонентов щелочно-земельных металлов и выяснение их роли в механизме активирования оксидных катодов и существенно продвинуться в понимании природы явлений в таких объектах. Детально изучено испарение соединений A^2B^6 и выяснена роль электронных процессов в испарении [16]. Показано, что в процессе прогресса для каждой температуры достигается характерное динамически равновесное состояние испаряющегося кристалла, построена теория испарения компонентов и формирования динамически равновесного состояния ионных кристаллов. Возникновение динамически равновесных состояний кристаллов оксидов щелочно-земельных металлов позволило объяснить длительную стабильную работу оксидного термокатада при непрерывном испарении его активного вещества. Объяснен механизм влияния добавок некоторых металлов на свойства металлизированного оксидного катода и сформулированы критерии выбора материала для добавок. Изучены закономерности кинетики испарения кристаллов полупроводниковых соединений, определяющие их факторы.

Под руководством Н.Д.Моргулиса разносторонне исследованы физические явления в бариевом металлопористом катоде [17].

П.Г.Борзяк в результате спектроскопических исследований сурьмяно-цезиевых и оловянно-цезиевых пленок впервые обнаружил (1953) экситонное поглощение света в полупроводниках и фотоэлектронную эмиссию, возникающую за счет этого поглощения [18]. Важную роль сыграло изучение загиба энергетических зон и приповерхностной области полупроводника и снижение электронного сродства под влиянием адсорбированных пленок [19]. Этими работами фактически заложены идейные и экспериментальные основы того направления в фотоэлектронике, которое привело к созданию фотоэмиттеров с отрицательным электронным сродством (П.Г.Борзяк с соавт.).

В 70-е годы в Институте физики получил развитие метод фотоэлектронной спектроскопии, основы которого заложил П.Г.Борзяк. Этот метод использовался для изучения фундаментального вопроса о генезисе энергетического спектра по мере увеличения размера частиц металла [20].

Работы по вторичной электронной эмиссии и электронной спектроскопии получили широкое развитие и в Киевском университете, где Н.Г.Находкин с сотрудниками выполнил большой цикл кинетики движения вторичных электронов и механизма термопластической записи информации при облучении диэлектриков электронами. Он изучал основные кинетические особенности возбуждения электронов во вторичной электронной эмиссии и рентгеновском фотоэффекте и установил роль неупругого рассеяния электрона в этих явлениях в твердом теле [21—23].

П.Г.Борзяком с сотрудниками проведены пионерские работы по получению эмиссии "горячих" электронов и смещению красной границы фотоэмиссии из полупроводников внутренним электрическим полем. Открыто (1965) явление холодной электронной эмиссии из металлических островковых пленок и их холодное свечение при прохождении через них тока (П.Г.Борзяк, О.Г.Сарбей, Р.Д.Федорович) [24]. В последующие годы в результате обширных исследований физической природы этих явлений показано, что они обусловлены разогревом электронов за счет вводимой мощности электрического тока. На основе этих открытий созданы (конец 60-х годов) холодные катоды нового типа. Докторская диссертация О.Г.Сарбея, ученика П.Г.Борзяка, подытожила исследования по горячим электродам, всесторонне стимулированные в свое время Н.Д.Моргулисом. В результате в институте сформировались новые научные направления — физика горячих электронов и электроника островковых пленок [3].

В 1947 г. Н.Д.Моргулис построил теорию автоэлектронной эмиссии из полупроводников [25], получившую современное развитие в работах А.Ф.Яценко. В 60-х годах П.Г.Борзяк, А.Ф.Яценко и другие выполнили большой цикл работ по автофотоэлектронной эмиссии из полупроводников, в результате которого сформировано целое представление об автоэлектронной и автофотоэлектронной эмиссии из дырочных полупроводниковых автофотокатодов и разработаны (60-е годы) высокочувствительные фотодетекторы и многоострийные автофотокатоды большой площади [26, 27].

Широкое признание получили работы по изучению адсорбционных явлений на металлах (Ю.Г.Пуулинский, Я.П.Зингерман, А.Г.Наумов, Д.А.Городецкий, В.М.Гаврилюк и др.) [4]. Исследования в этом направлении наряду с их самостоятельным значением важны как научная база для катализа, защиты металлов от коррозии, электронной и вакуумной техники. Еще до войны Н.Д.Моргулис выполнил ряд фундаментальных работ по физике поверхности. В 50-х годах под его руководством начаты систематические исследования электронно-адсорбционных явлений на металлах. Внедрение в практику исследований сверхвысоковакуумной техники, а киевская школа вы-

ступила инициатором в СССР внедрения в лабораторную практику технологии сверхвысокого вакуума (В.А.Гаврилюк, Ю.Г.Птушинский), создало предпосылки для изучения поверхностей в чистых условиях.

С начала 60-х годов эти исследования проводятся на поверхностях с известной атомной структурой — на отдельных гранях металлических монокристаллов. Впервые экспериментально доказано (1958), что атомы одного металла конденсируются на атомарно чистой поверхности другого металла со 100%-ной вероятностью (Ю.Г.Птушинский) [28]. Раскрыт (1967—1968) механизм атомных процессов при адсорбции кислорода с поверхности тугоплавких металлов и установлено соответствие между характером этих процессов и атомным строением монокристаллической поверхности (Ю.Г.Птушинский, Б.А.Чуйков) [29].

Впервые получены корректные данные о составе продуктов десорбции при взаимодействии кислорода с вольфрамом и молибденом, определены условия, при которых это взаимодействие становится коррозионным (Ю.Г.Птушинский, Б.А.Чуйков).

Я.П.Зингерман совместно с В.А.Ищуком выполнил цикл исследований по изучению влияния адсорбции кислорода на работу выхода монокристалла вольфрама. В 1963 г. они независимо обнаружили влияние электронно-стимулированной десорбции.

При изучении взаимодействия электронов проводимости с поверхностью монокристаллов тугоплавких металлов было показано, что характер рассеяния изменяется от почти зеркального для атомарно чистой упорядоченной поверхности до диффузного для поверхности разупорядоченной или покрытой монослоем чужеродных молекул (Ю.Г.Птушинский, О.А.Папченко и др., 1974) [30].

Выполнен большой цикл исследований атомной структуры субмонослойных адсорбированных пленок, что способствовало становлению кристаллографии поверхностей. Обнаружены двумерные решетки адатомов с большими периодами (10—20 Å), установлена коррекция между структурными превращениями в пленках и изменениями работы выхода и теплоты адсорбции, обнаружены фазовые переходы I рода в пленках с сильной полярной связью, показана существенная роль в определении структуры пленок взаимодействия адсорбированных частиц через подложку (А.Г.Наумовец, А.Г.Федорус, В.К.Медведев) [31].

В 1963 г. В.М.Гаврилюк и А.Г.Наумовец обнаружили явление дрейфа адсорбированных частиц в неоднородном электрическом поле и использовали его в дальнейшем для изучения электронного состояния адсорбированных частиц [32].

На основе изучения взаимодействий атомов в адсорбированных пленках разработаны физические принципы отбора материалов для эмиссионно-активных систем. В настоящее время в исследованиях электронно-адсорбированных явлений на поверхности металлов Институт физики АН Украины занимает ведущее место в стране.

С начала 60-х годов в Киевском университете под руководством Д.А.Городецкого велись работы по изучению структуры моноатом-

ных пленок на кристаллах. С использованием метода дифракции медленных электронов, освоенным в университете Н.Д.Моргулисом, им еще в 50-е годы был осуществлен широкий комплекс исследований физических факторов, влияющих на структуру адсорбированных пленок [33]. Изучены структуры и их влияние на работу выхода пленок ряда элементов, а также двумерные кристаллические решетки адатомов, прослежен переход от одной упорядоченной структуры к другой при изменении поверхностной концентрации адатомов. Исследовано взаимодействие кислорода с гранями кристаллов вольфрама и рения. При адсорбции кислорода наблюдались структуры, свидетельствующие об изменении структуры подложки под действием адсорбата. Изучены структуры пленок дипольных молекул оксида бария на гранях кристаллов вольфрама и рения [34], а также двойные слои, дающие возможность получить малую работу выхода плёночного эмиттера при его повышенной термостойкости.

Одним из важных направлений исследований Н.Д.Моргулиса было всестороннее исследование физических процессов, происходящих в коротком диоде с термоэмиссионным катодом в присутствии паров цезия. Эти работы начались еще в довоенные годы и возобновились совместно с П.М.Марчуком в 1948—1951 гг. Они показали, что такой диод может быть превращен в эффективный генератор электроэнергии. В результате был открыт новый принцип преобразования тепловой энергии в электрическую, обладающий большими КПД и плотностью мощности с единицы площади нагретого тела (катода) [35]. Эти исследования положили начало новому перспективному направлению в энергетике — термоэмиссионному методу преобразования энергии, которой активно развивается в настоящее время.

В 60-х годах в Киевском университете под руководством Н.Д.Моргулиса началось планомерное исследование физических принципов преобразования энергии с помощью термоэмиссионно-плазменного и магнитно-плазменодинамического методов. Используя широкий комплекс методов, Н.Д.Моргулис с сотрудниками определил различные параметры низкотемпературной плазмы, главным образом цезиевой [36]. Изучен большой круг вопросов, связанных с процессами в цезиевой плазме и в цезиевых плазменных диодах, исследованы свойства плазмы нового типа — фоторезонансной.

С 1950 г. в Институте физики под руководством М.Д.Габовича ведутся широкие экспериментальные исследования по физике плазмы, в частности, ионной физике и плазменной электронике. В 1950 г. М.Д.Габовичем разработан метод формирования мощных ионных пучков, с помощью которого в дальнейшем создан ряд мощных ионных инжекторов [5, 37, 38]. Изучено коллективное взаимодействие ионного пучка с плазмой и подтверждено (1964) основы теории двухпучковой ионной неустойчивости. Исследовано взаимодействие электронных пучков с плазмой, в частности, показано существование пространственно нарастающих волн и дано объяснение явления аномального рассеяния электронов, обнаружено (М.Д.Габович, Л.Л.Пасечник) возбуждение колебаний плазмы проходящим через

нее пучком электронов. В 1959 г. М.Д.Габовичем и Л.Л.Пасечником изучена пространственная структура зон возбуждения и определены потери энергии пучка при движении в плазме [39].

Л.Л.Пасечником экспериментально обнаружено (1970) существенное влияние переменного электрического поля на движение зарядов перпендикулярно магнитному полю, исследованы условия возбуждения и основные характеристики различного рода неустойчивостей плазмы отражательного, прямого плазменно-пучкового и высококачественного разрядов в магнитном поле. Экспериментально обнаружена солитоноподобная структура параметрической турбулентности плазмы (Л.Л.Пасечник, В.Ф.Семенюк и др.) [40].

Первые экспериментально наблюдались (1969) предсказанное теорией явление возникновения многоскоростного потока при нелинейном взаимодействии электронного пучка с плазмой (М.Д.Габович, А.П.Коваленко) [41].

В 1970 г. впервые получена синтезированная ионно-ионная плазма, состоящая из взаимопроникающих пучков положительных и отрицательных ионов, показано усиление колебаний при относительном движении пучков (М.Д.Габович, В.П.Коваленко, А.П.Найда). Такая плазма, как оказалось, является хорошей моделью для экспериментальной проверки теории нелинейных явлений в пучковой плазме. Исследована теоретически и обнаружена экспериментально (1970) дрейфовая пучковая неустойчивость неоднородных встречных ионных потоков, движущихся в плазме вдоль магнитного поля (М.Д.Габович, Э.А.Пашинский, Н.М.Проценко) [42].

В физике ионно-пучковой плазмы институт занимает ведущее положение в стране.

В Киевском университете С.М.Левитским активно изучаются СВЧ явления в плазме газового разряда. Разработан ряд СВЧ методов метрики плазмы (резонаторный, резонансного СВЧ зонда, двойного СВЧ зонда) [43]. Исследовано распространение электромагнитных волн в плазменных волноводах и взаимодействие электронных пучков с плазмой [44]. Установлено, что на линейной стадии взаимодействия происходит зарождение СВЧ колебаний из тепловых флуктуаций плазмы и их экспоненциальное нарастание. Изучены нелинейные эффекты, связанные с возмущением параметров пучковой плазмы полями, которые возбуждаются в ней СВЧ и НЧ колебаниями.

Таким образом, практически все направления, в которых Н.Д.Моргулисом начаты исследования еще в довоенные годы, в дальнейшем получили значительное развитие в Институте физики и Киевском университете. В настоящее время работы в области эмиссионной электроники и физики низкотемпературной плазмы активно развиваются и углубляются под руководством учеников Н.Д.Моргулиса — П.Г.Борзяка, Н.Г.Находкина, А.Г.Наумовца, Ю.Г.Птушинского и М.Д.Габовича, тем самым ярко подтверждая жизненную силу созданной им киевской школы физической электроники. В этой связи Ю.Г.Птушинский отмечает: "Характерной чертой Н.Д.Моргулиса

было чувство нового. Он старался привить это чувство своим ученикам. Он старался непрерывно омолаживать свой коллектив, потому что молодые наиболее восприимчивы к новому. Непрерывное омоложение исследовательских групп, чувство нового, комплексность исследований, принципиальность и высокая мораль, неразрывное сочетание процессов обучения и исследований — вот основные черты, обеспечивавшие жизнеспособность киевской школы физической электроники"*

Кроме традиционных направлений эмиссионной электроники в школе развились и новые — тонкопленочная электроника, физика малых металлических частиц, фотоэмиссионная спектроскопия и др.

Список литературы

1. Моргулис Н.Д. Развитие работ по электронике в УССР // Тр. Ин-та физики АН УССР. — 1955. — Вып. 6. — С. 20 — 42.
2. Моргулис Н.Д. Исследования в области физической электроники в КГУ // Электрон. техніка. Сер.1. Электрон. СВЧ. — 1972. — № 12. — С. 66. — 73.
3. Борзяк П.Г., Кулюпин Ю.А. Излучение света при взаимодействии медленных электронов с металлами // Укр. физ. журн. 1979. — 24, № 2. — С. 204 — 214.
4. Наумов А.Г., Птушинский Ю.Г. Исследования электронно-адсорбционных явлений на поверхности металлов в ИФ АН УССР // Там же. — С. 215 — 228.
5. Габович М.Д. Компенсированные ионные пучки // Там же. — С. 257 — 273.
6. Моргулис Н.Д. К вопросу о квантовой природе теории ионизации и нейтрализации на металлической поверхности // Журн. эксперим. и теорет. физики. — 1934. — 4. Вып. 8. — С. 684 — 689.
7. Моргулис Н.Д. Вторично-электронная эмиссия металлов при их бомбардировке электронами // Успехи физ. наук. — 1936. — 16. — С. 730.
8. Моргулис Н.Д., Дятловицкая Б.И. Эмиссионные свойства сурьмяно-цезиевых катодов // Докл. АН УССР. — 1939. — № 2.
9. Борзяк П.Г. О природе фотоэффекта серебрино-кислородно-цезиевого фотокатода // Тр. Ин-та физики АН УССР. — 1953. — Вып. 4. — С. 11 — 27.
10. Борзяк П.Г. Экспериментальное исследование сурьмяно-цезиевых пленок // Докл. АН СССР. — 1941. — 31, № 6. — С. 547 — 55.
11. Моргулис Н.Д., Борзяк П.Г., Дятловицкая Б.И. Оптические и фотоэлектрические свойства сурьмяно-цезиевых катодов // Там же. — 1947. — 56, № 9. — С. 925 — 928.
12. Моргулис Н.Д., Нахутин И.Е. К проблеме оксидного катода // Журн. эксперим. и теорет. физики. — 1936. — 6, вып. 10. — С. 1101 — 1112.
13. Моргулис Н.Д., Нагорский А.Т. Вторичная электронная эмиссия из оксидных катодов // Там же. — 1938. — 8. — С. 1159.
14. Моргулис Н.Д., Зинсерман Я.П. Экспериментальное исследование оксидного катода // Докл. АН СССР. — 1951. — 81, № 5. — С. 783 — 785.
15. Пикус Г.Я. Масс-спектрометрическое исследование оксидных катодов в процессе длительной работы // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1956. — 20, № 10. — С. 1085 — 1095.

16. Пикус Г.Я. Исследование процесса испарения оксидных катодов // Физика твердого тела. — 1961. — Вып. 3. — С. 736 — 745.
17. Моргулис Н.Д. Физические свойства пористого металло-пленочного термокатада // Журн. техн. физики. — 1956. — 26, вып. 3. — С. 536 — 548.
18. Борзяк П.Г. Оптическое поглощение и фотоэффект полупроводникового сурьмяно-цезиевого фотокатода при низкой температуре // Тр. Ин-та физики АН УССР. — 1953. — Вып. 4. — С. 28 — 32.
19. Борзяк П.Г., Сарбей О.Г. Фотоэлектронная и вторичная эмиссия германия // Журн. техн. физики. — 1958. — 28, вып. 9. — С. 1905 — 1912.
20. Борзяк П.Г., Катрич Г.А. Фотоэлектронная спектроскопия // Вісн. АН УРСР. — 1980. — С. 7 — 18.
21. Находкин Н.Г., Романовський В.О. Вивчення кінетики руху електронів при вторинній емісії // Укр. фіз. журн. — 1959. — № 4. — С. 479 — 490.
22. Находкин Н.Г., Мельник П.В. Распределение по энергиям вторичных электронов и фотоэлектронов, возбужденных мягкими рентгеновскими лучами // Физика твердого тела. — 1963. — 5, вып. 9. — С. 2441 — 2447.
23. Находкин Н.Г., Остроухов А.А., Романовский В.А. Неупругое рассеяние электронов в тонких пленках // Там же. — 1965. — 7, вып. 1. — С. 210 — 216.
24. Борзяк П.Г., Калопин Ю.А. Электронные процессы в островковых металлических пленках. — Киев: Наук. думка, 1980. — 239 с.
25. Моргулис Н.Д. К вопросу об автоэлектронной эмиссии сложных полупроводниковых катодов // Журн. техн. физики. — 1947. — 17, вып. 9. — С. 983 — 986.
26. Бибик В.Ф., Борзяк П.Г., Яценко А.Ф. Германиевые и крмниевые полевые электронно-эмиссионные фотоэлементы // Укр. физ. журн. — 1968. — 13, № 5. — С. 868 — 871.
27. Борзяк П.Г., Гивартизов Е.Я., Кулишова Г.Г. и др. Эмиссионные свойства многострельных автофотокатодов из Si_xGe_{1-x} изготовленных кристаллизацией из паровой фазы // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1976. — 40, № 8. — С. 1571 — 1574.
28. Птушинский Ю.Г. Исследование конденсации атомов серебра на молибдене // Журн. техн. физики. — 1958. — 28, вып. 7. — С. 1402 — 1407.
29. Птушинский Ю.Г., Чуйков В.А. Масс-спектрометрическое исследование взаимодействия кислорода с гранями (110) и (100) монокристалла вольфрама // Физика твердого тела. — 1968. — 10. — С. 722 — 728.
30. Панченко О.А., Луцишин П.П., Птушинский Ю.Г. Статистический скин-эффект на атомно чистых поверхностях вольфрама и молибдена // Журн. эксперим. и теорет. физики. — 1974. — 66, вып. 7. — С. 2191 — 2197.
31. Вольшов Л.А., Налартович А.П., Наумовец А.Г., Федорус А.Г. Субмонослойные пленки на поверхности металлов // Успехи физ. наук. — 1977. — 122, вып. 1. — С. 125 — 1548.
32. Гаврилюк В.М., Наумовец А.Г. Поверхностная диффузия адсорбированных атомов в электрическом поле // Физика твердого тела. — 1963. — 5, № 10. — С. 2792 — 2798.
33. Городецкий Д.О., Машута Г.Д. Дослідження електронних властивостей тонкопленочних систем // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. фіз. та хім. — 1959. — № 2, вип. 1. — С. 79 — 85.
34. Городецкий Д.А., Мельник Ю.П. Структура пленок окиси бария на гранях (110) монокристалла вольфрама // Физика твердого тела. — 1965. — 7, вып. 9. — С. 2780 — 2788.
35. Моргулис Н.Д., Марчук П.М. До питання про перетворення теплової енергії в електричну шляхом використання термоелектричної емісії // Укр. фіз. журн. — 1957. — 2, № 4. — С. 379 — 380.
36. Моргулис Н.Д., Корчевий Ю.П. Некоторые источники монов. — Киев: Наук. думка, 1964. — 304 с.
38. Габович М.Д. Физика и техника плазменных источников монов. — М.: Атомиздат, 1972. — 304 с.
39. Габович М.Д., Пасечник Л.Л. Аномальное рассеяние электронов и возбуждение плазменных колебаний // Журн. эксперим. и теорет. физики. — 1959. — 36, вып. 4. — С. 1025 — 1033.
40. Гурин А.А., Пасечник Л.Л., Попович А.С. Диффузия плазмы в магнитном поле. — Киев: Наук. думка, 1979. — 243 с.
41. Габович М.Д., Коваленко В.П. Экспериментальное наблюдение возникновения многоскоростного потока при нелинейном взаимодействии электронного пучка с плазмой // Укр. физ. журн. — 1970. — 15, № 11. — С. 1893 — 1896.
42. Габович М.Д. Ионно-лучевая плазма и распространение компенсированных моновых пучков // Успехи физ. наук. — 1977. — 121, вып. 2. — С. 259 — 284.
43. Левитский С.М., Шашурин Н.П. Метод резонансного сверхвысокочастотного зонда для измерения концентрации зарядов в плазме // Журн. техн. физики. — 1961. — 31, вып. 4. — С. 436 — 444.
44. Левитский С.М., Баранчук Н.С. Исследование свойств цилиндрического плазменного волновода // Изв. вузов. Радиофизика. — 1961. — 4, № 6. — С. 1078 — 1088.