

К ТРИДЦАТИЛЕТИЮ СОВЕТСКОЙ ФИЗИКИ

СОВЕТСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА ЗА 30 ЛЕТ

*С. Ю. Лукьянов*

Неразрывная связь, существующая между различными частями современной физики, сильно затрудняет чёткое определение границ и содержания любого из её разделов. Под электроникой естественно было бы понимать ту область науки, в которой изучаются свойства, процессы образования, движения и поглощения свободных заряженных частиц (прежде всего электронов). Если мы не хотим, однако, рассматривать газовый разряд, физику металлов, полупроводников и диэлектриков как части электроники, то следует ограничиться изучением движения заряженных частиц только в вакууме или очень разреженных газах, а не в газах под более высоким давлением, жидкостях или твёрдых телах. Дальше, говоря об электронике, целесообразно оставить в стороне те явления, которые наблюдаются, например, в космических лучах при движении заряженных частиц с очень большими скоростями, близкими к скорости света, так как эти вопросы относятся к области ядерной физики.

В соответствии со сказанным, при изложении достижений советских физиков в области электроники, мы рассмотрим работы по следующим проблемам.

1) Электронная и ионная эмиссия (фотоэффект, термо- и автоэлектронная эмиссия, вторичная эмиссия, поверхностная ионизация и другие типы ионных эмиссий).

2) Электронная и ионная оптика.

3) Исследование основных свойств электронов и ионов.

Попутно с чисто физическими работами, в статье, разумеется, будут кратко охарактеризованы и некоторые интересные и важные работы, относящиеся к технической электронике.

1. ВВЕДЕНИЕ

Электронная физика принадлежала к числу ведущих отраслей естествознания в течение двух первых десятилетий нашего века, когда заканчивалось построение классической атомной физики, когда была создана и переживала период расцвета электронная теория

металлов и делала первые шаги квантовая теория Бора. Важнейшие эксперименты по определению основных электронных констант, эксперименты, доказавшие реальное существование свободных электронов, появляющихся в процессах термоэлектронной и фотоэлектронной эмиссии, установление квантового уравнения для фотоэффекта, доказательство существования дискретных уровней в атоме\*), наконец, масс-спектрографическое доказательство наличия изотопов у стабильных элементов, — все эти достижения электроники явились тем необходимым фундаментом, без которого было невозможно формирование наших представлений о строении вещества, а следовательно, и успешное развитие всей физики тех лет.

Позднее положение изменилось. По мере того как выяснялось устройство наружной оболочки атома, и физики от вопросов строения атома, как целого, переходили к изучению его составных частей, роль электроники уменьшалась, и сейчас, как хорошо известно, в центре внимания современной физики находятся проблемы атомного ядра. Однако и в более поздние периоды развития физики отдельные вопросы электроники занимали видное место в общем прогрессе науки. Так, электронная физика сыграла существенную роль в той коренной ломке всех наших физических представлений, которая была связана с появлением одной из наиболее важных и революционных теорий современной физики — волновой механики. Действительно, открытое в 1927 г. явление электронной дифракции остаётся до настоящего времени основным экспериментальным подтверждением квантовой механики. В свою очередь волновая механика оказала сильное влияние на развитие электроники, — с её помощью было достигнуто более глубокое понимание ранее установленных фактов в области термоэлектронной эмиссии и фотоэффекта, а вся область автоэлектронных явлений впервые получила рациональное объяснение, основанное на строгой количественной теории.

Другим важным моментом в развитии электроники и всей физики этого периода явилось создание электронной оптики. Возникшая в 1926 г. из рассмотрения одной частной задачи движения электронов в аксиальном магнитном поле, электронная оптика за короткий срок превратилась в обширную и детально разработанную дисциплину, значение которой для современной экспериментальной физики и техники продолжает непрерывно возрастать (электронный микроскоп, катодный осциллограф, электронно-лучевые лампы, светосильные масс-спектрографы, электронные ускорители, — всё это технические «выходы» электронной оптики). Возрождение интереса к давно известной аналогии между оптикой и механикой позволило придать, хотя и задним числом, основным положениям электронной оптики исключительную стройность и наметить качественно правильные пути решения некоторых трудных задач в этой области.

---

\*) Опыты Павлова и Франка и Герца.

Необходимо подчеркнуть, что, утратив, в известной мере, своё значение для развития физики в целом, электроника, начиная с двадцатых годов нашего века, находит всё новые и новые замечательные применения в технике и промышленности. Именно в эти годы развёртывается полноценное и всестороннее техническое использование ранее открытых явлений. Так, применение термоэлектронной эмиссии в технике приводит, благодаря быстрому усовершенствованию радиоламп, к тому поразительному расцвету радиосвязи, свидетелями которого мы являемся. Фотозлемент, изобретённый на заре наших познаний в области фотоэлектричества, превращается из забавной лабораторной игрушки в ценный физический прибор; с его применением и усовершенствованием становятся возможными блестящие и стремительные успехи таких совершенно новых областей техники, как звуковое кино и телевидение, значение которых в жизни современного общества вряд ли может быть переоценено. Несколько позднее открываются любопытные возможности технического использования вторичной электронной эмиссии и развиваются названные выше применения электронной оптики в технике. Параллельно с ростом новых отраслей техники быстро крепнет и расширяется молодая электровакуумная промышленность.

Работа советских физиков в области электроники приходится, в основном, как раз на этот, только что охарактеризованный период её развития. Рассматривая результаты, достигнутые советскими физиками, мы убедимся, как много ими сделано в усовершенствовании и углублённом изучении более старых разделов электроники и в развитии её новых направлений. Мы увидим, что в некоторых направлениях работы советских физиков занимают ведущее положение, что многие узловые вопросы электроники этих лет были впервые поставлены в Советском Союзе, и ряд важных технических проблем был также впервые решён в нашей стране. Размах и многообразие этих работ не позволяют в рамках небольшой статьи достаточно полно осветить все интересные и заслуживающие упоминания вопросы (заметим, что число одних журнальных статей по электронике, опубликованных в Советском Союзе, свыше 400). Мы рассмотрим ниже работы по фотоэффекту, вторичной эмиссии, термоэлектронной эмиссии, поверхностной ионизации, электронной оптике и электронной дифракции. Многие интересные работы, из числа посвящённых более специальным вопросам, не будут затронуты совсем, другие — только упомянуты.

## 2. ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

Фотоэлектрические исследования, широко развернувшиеся в Советском Союзе, выросли не на пустом месте, — они находятся в преемственной связи с русской наукой прошлого и прежде всего с классическими работами Столетова, относящимися к 1888—91 гг.

До сих пор приходится удивляться глубине исследований Столетова и поразительной интуиции учёного, который при тогдашнем уровне наших физических познаний сумел так много сделать для изучения этой новой отрасли физики. Столетову принадлежит честь установления первого закона фотоэлектричества, им предложен совершенный метод измерения фототоков, им установлено существование тока насыщения, доказана безинерционность фотоэффекта, обнаружено явление утомления фотокатодов. Изучая фотоэлектрические явления не в вакууме, а при атмосферном и пониженном давлении, Столетов доказал, что фотоэлектрический ток проходит через максимум при определённом давлении газа (эффект Столетова), заложив тем самым основы для построения в будущем таунсендовской теории газового разряда. Работы Столетова являются, таким образом, основными не только для области фотоэлектричества, но и для газового разряда.

Позднее, в 1913 г., важнейшую роль в формировании правильных представлений о природе фотоэлектричества сыграли опыты А. Ф. Иоффе по элементарному фотоэффекту. Статистический характер явления, обнаруженный в этих прекрасно задуманных и тонких по выполнению опытах послужил веским подтверждением справедливости квантового характера взаимодействия между веществом и излучением (в те годы эти представления были далеко не общеприняты). Вместе с тем опыты Иоффе являются одним из наиболее непосредственных и прямых доказательств атомистического строения электричества.

Первые исследования в области фотоэффекта в Советском Союзе тесно связаны с именем П. И. Лукирского, роль которого в создании советской школы по электронике исключительно велика. Лукирскому не только принадлежит ряд первоклассных исследований по фотоэффекту, вторичной и термоэлектронной эмиссии, но фактически большинство работ по электронике, выполненных ленинградскими физиками, в той или иной мере навеяно идеями, высказанными Лукирским, сделано его учениками или по его предложению.

Первые работы Лукирского и его сотрудников по фотоэффекту с кристаллов относятся к 1924 г. В этом же году в связи с исследованиями в области рентгеновых лучей им был предложен новый метод сферического конденсатора, значение которого полностью выяснилось в 1926 г., когда Лукирским и Прилежаевым была начата серия работ по изучению фотоэлектрического эффекта с металлических поверхностей. В этих исследованиях для измерения энергии фотоэлектронов и определения работы выхода поверхностей был использован метод задерживающего потенциала. Милликен и Айвс применяли раньше подобную методику, но полученные ими результаты далеко не обладают требуемой степенью точности. Лишь предложенное Лукирским применение сферического конденсатора превращает метод задерживающего потенциала в один из наиболее точных и надёжных способов определения работы выхода. Движение фотоэлектронов в поле сферического конденсатора может быть заранее

полностью рассчитано: при заданных геометрических размерах прибора, максимальная энергия фотоэлектронов находится с большой степенью точности, а возможные источники ошибок могут быть определены или исключены. Всё это превратило метод сферического конденсатора в метод классический для техники фотоэлектрических исследований, и в дальнейшем он стал широко применяться в работах по фотоэффекту.

Значение работ Лукирского и Прилежаева, помимо уже указанной большой методической ценности, состоит прежде всего в том, что они подвергли строгой количественной проверке уравнение Эйнштейна. В результате, справедливость этого уравнения была установлена с такой высокой степенью точности, что оно может рассматриваться, как один из наиболее надёжно экспериментально обоснованных законов физики.

Параллельно с проверкой уравнения Эйнштейна, в этих же работах, также с большой точностью, было определено численное значение одной из основных физических констант — постоянной Планка, и была сделана попытка непосредственно экспериментально определить фотоэлектрическим методом распределение электронов по энергиям внутри металла.

Из сказанного становится ясной та роль, которую сыграли оригинальные работы Лукирского для обоснования современных представлений о внешнем фотоэффекте.

Несколькими годами позже появилась теоретическая работа И. Е. Тамма, в которой методами волновой механики развивается теория внешнего фотоэффекта для случая чистой металлической поверхности. Рассматривая вопрос о связи электронов с кристаллической решёткой и условиях, при которых поглощение кванта электроном металла не сопровождается нарушением закона сохранения импульса, Тамм пришёл к важному выводу о наличии двойного рода внешнего фотоэффекта: «поверхностного» и «объёмного» происхождения. «Поверхностный» фотоэффект оказывается связанным при этом со скачком потенциальной энергии на границе металла, а «объёмный» — с потенциальным рельефом внутри металла (периодическим полем ионов решётки). Высказанные Таммом идеи оказались необычайно плодотворными, они не только позволили объяснить в ряде случаев причину появления селективного максимума на кривых спектрального распределения фототока у чистых металлов, но и привлекались неоднократно в дальнейшем при рассмотрении других случаев электронной эмиссии с металлической поверхности.

Механизм селективного фотоэффекта для сложных поверхностей изучался в работах Лукирского и Рыжанова, а истолкование спектральной селективности для чистых металлов, исходя из оптических констант для этих металлов, было дано для ряда случаев в работе Лукирского и Хургина. Эта последняя работа находится в связи с обширной серией исследований Айвса по оптике и фотоэффекту ще-

лочных металлов и должна рассматриваться как одна из важных работ в этой области.

В последующие годы в области фотоэлектричества, так же как и в области термоионки, внимание физиков сосредоточивается уже не на изучении свойств чистых металлов, а на исследовании сложных фотокатодов различных типов. К 1930 г. относится изобретение кислородно-цезиевого фотокатода, и вплоть до 1937 г. он остается в центре внимания большинства работ по фотоэффекту. В Советском Союзе свойства этого исключительно важного для техники катода усиленно изучаются, разрабатывается его технология, исследуются его аномальные свойства и механизм действия.

Среди ряда исследований, появившихся в этом направлении, прежде всего должны быть отмечены работы лауреата Сталинской премии Тимофеева и его сотрудников; из этой лаборатории вышли первые советские фотоэлементы высокой чувствительности с кислородно-цезиевым катодом. Тимофеев и Пятницкий первые начали изучение вопроса о распределении фотоэлектронов по энергиям, что является весьма существенным для понимания механизма действия этого фотокатода. Позднее Кушир и его сотрудники с успехом продолжали подобные исследования как для кислородно-цезиевого катода, так и для других сложных катодов. Хлебников совместно с Синицыным и Зайцевым подробно изучали технологию и свойства различных модификаций кислородно-цезиевого катода, исследовали его спектральные характеристики, утомление и распределение чувствительности по поверхности. Наконец, недавно, в 1944 г., появилась исключительно богатая по экспериментальному материалу работа Морозова и Бутслова. В ней детально рассмотрена связь фотоэлектрических и оптических свойств катода с толщиной полупроводящего слоя. Экспериментальные данные, полученные в этой работе, заставляют по-новому оценить многие сложившиеся ранее представления о действии кислородно-цезиевых фотокатодов и, в частности, опровергают некоторые построения, развивавшиеся де-Буром.

В 1936 г. был открыт сурьмяно-цезиевый фотокатод. Годом позднее появляется первая в Советском Союзе работа Лукирского и Лушевой, в которой содержится описание свойств фотоэлементов с катодами этого типа. Надо иметь в виду, что технология этого катода тогда ещё не была ясна, механизм действия его неизвестен, свойства катода подробно не изучены. Уже в этой первой работе было дано неожиданное и остроумное истолкование ряда обнаруженных аномальных свойств фотоэлементов с новыми катодами \*). Позднее, когда

---

\*) Так, в частности, отсутствие насыщения в вакуумных фотоэлементах в этом случае объясняется большим продольным сопротивлением катода и возникновением на нём, при освещении, падения потенциала. В результате, вдоль катода появляется „скользящий“ фототок, усиливаемый за счёт вторичной эмиссии; этот ток растёт с напряжением и накладывается на первичный ток с катода.

ценность нового катода становится ясной для физиков, когда его замечательные свойства (большая фоточувствительность, постоянство в работе, простота в изготовлении) вызывают всеобщий интерес, появляется множество работ, посвящённых сурьмяно-цезиевому катоду; подавляющее большинство этих работ принадлежит советским учёным. Первая публикация по новым фотоэлементам, появившаяся в Соединённых Штатах, относится к 1941 г., и несомненно, что сурьмяно-цезиевые фотоэлементы не только изучены нами полнее, чем в Америке или в Англии, но и применены в технике раньше и более широко. Охарактеризовать всю совокупность относящихся сюда вопросов и работ в настоящей статье не представляется возможным, и мы отметим лишь некоторые из них.

Прилежаев в 1939 г. в обширном исследовании, выполненном всё тем же методом сферического конденсатора, изучил свойства сурьмяно-цезиевого катода, находящегося в равновесии с парами цезия. Эта работа Прилежаева, непосредственно примыкающая к известным исследованиям Лэнгмюра по изучению явления адсорбции атомов на металлических поверхностях, много дала для понимания процесса активации катода и механизма его работы.

В интересном и тонком исследовании Векшинского, выполненном в лаборатории завода «Светлана» в 1940 г., была изучена микроструктура сурьмяно-цезиевого катода (а ещё раньше — кислородно-цезиевого). В этих работах для исследования фотоэффекта с отдельных элементов поверхности Векшинским была весьма удачно применена разработанная им методика с автоматической регистрацией фототоков. Полученные им результаты исследования процесса кристаллизации тонких металлических плёнок сурьмы, так же как и применявшаяся методика, были позднее с успехом использованы им для металлографического исследования сплавов различных элементов, т. е. далеко за пределами рассматриваемой нами области. За эти последние работы в 1946 г. Векшинскому была присуждена Сталинская премия. Так возникшая из фотоэлектрических исследований методика получения и анализа тонких металлических плёнок нашла широкое применение в совсем иных отраслях техники.

Автором этих строк в 1939 г. новым методом была определена квантовая чувствительность сурьмяно-цезиевого катода, которая, как оказалось, достигает, в точке спектрального максимума чувствительности катода, огромной величины около  $\frac{1}{4}$  электрона на квант. Это обстоятельство позволяет рассматривать новые катоды как наиболее чувствительные индикаторы лучистой энергии с данной длиной волны.

Позднее Хлебников и Меламид показали, что сурьмяно-цезиевый фотокатод обладает очень большой чувствительностью также и в ультрафиолетовой области спектра. Построенные ими фотоэлементы с тонкостенными окнами удачно решают вопрос о создании чувствительных приборов для регистрации ультрафиолетового излучения.

При исследовании спектральных характеристик сурьмяно-цезиевого катода автором было предложено обобщение известного метода определения работы выхода Фаулера-Дюбриджа на случай катода полупроводниковой природы.

Ряд работ по сурьмяно-цезиевым катодам был проделан в Институте физики в Киеве и в Москве в ВЭИ. В частности, Моргулис и Дятловицкая подробно исследовали эмиссионные свойства этих катодов, специально рассмотрев влияние температуры и электропроводности слоя на характеристики сурьмяно-цезиевых фотоэлементов. Работы киевских физиков в этом направлении продолжались все последние годы. Особенно многообещающими являются недавние работы Моргулиса и Борзяка, в которых исследуется связь между оптическими константами сурьмяно-цезиевого катода и его фотоэлектрическими свойствами. Результаты этих опытов могут представлять интерес не только для области фотоэффекта, но и для физики полупроводников, поскольку из них могут быть извлечены данные о поведении электронов, возбуждённых светом в полупроводящей среде.

Интересное физическое исследование сурьмяно-цезиевого катода было опубликовано в 1947 г. Брежневым, который изучил влияние электрического поля на фотоэлектронную эмиссию этого катода (фотоэлектрический эффект Шоттки). В той же работе Брежнев впервые исследовал, на примере сурьмяно-цезиевого катода, автоэлектронную эмиссию для полупроводящих поверхностей. Много усилий по внедрению новых катодов в различные области техники было приложено Хлебниковым, изучавшим совместно с Зайцевым и Синицыным световые и электрические характеристики сурьмяно-цезиевых фотоэлементов.

Заканчивая рассмотрение физических исследований в области фотоэффекта, укажем ещё на предложенную в 1945 г. Хлебниковым новую точку зрения на механизм эмиссии сложных фотокатодов. Связывая фотоэффект с этих поверхностей с энергетической моделью полупроводника, Хлебников подвергает заслуженной критике многие положения теории де-Бура, в которой несомненно переоценивается роль атомов щелочного металла, адсорбированных на поверхности сложных катодов. Обладая большой логической стройностью, представления, развитые Хлебниковым, могут сыграть положительную роль при отыскании новых фотокатодов и исследовании существующих.

Среди работ, посвящённых специально техническим применениям фотоэффекта, следует особо отметить работу Брауде, относящуюся к 1937 г. В ней был предложен новый, исключительно остроумный прибор, предназначенный для телевизионной передачи кинокартин. Существенную часть этого прибора составляет фотоэлектрически сенсibilизированная металлическая проволока, на которую проектируется строка передаваемого кадра. Создавая вдоль проволоки электрическое поле, бегущее со скоростью развёртки, и собирая на кол-



лекторе эмиттируемые нитью фотоэлектроны, мы получим в цепи коллектора фототок, скорость нарастания которого будет пропорциональна видеосигналу от элемента передаваемой картины. Система телевидения Брауде представляет собой совершенно оригинальное решение задачи и, как показал опыт Ленинградского телевизионного центра, она прекрасно зарекомендовала себя при передаче кинокартин.

К техническим применениям фотоэффекта относятся, в сущности, и те исследования по разработке сложных фотокатодов, о которых говорилось выше. Нужно специально подчеркнуть, что большой заслугой советских физиков-техников является своевременный пуск в массовое производство фотоэлементов с кислородно-цезиевым, а затем и сурьмяно-цезиевым катодом, на изготовлении которых специализировался Московский электроламповый завод. Параметры фотоэлементов, выпускаемых МЭЛЗом, непрерывно совершенствовались и не уступают параметрам фотоэлементов зарубежных фирм. Известным отрицательным моментом в данной области является недостаточное использование фотоэлектрических методов в промышленности, — применение фотоэлементов для целей автоматического контроля, регистрации и сигнализации всё ещё не отвечает имеющимся возможностям.

На протяжении ряда лет фотоэлементы различных специальных типов, разработанные советскими физиками, с успехом применяются в астрономии, в частности в работах Главной астрономической обсерватории Советского Союза в Пулковке. В текущем году астроному Павлову за разработку фотоэлектрического метода регистрации звёздных прохождений, обеспечивающего значительное повышение точности астрономических наблюдений, присуждена Сталинская премия.

### 3. ВТОРИЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ

Явление вторичной электронной эмиссии было открыто ещё в 1898 г., но в течение довольно долгого времени оно не привлекало к себе особого внимания исследователей. Механизм явления не был изучен, технические применения отсутствовали. Лишь с начала двадцатых годов, с одной стороны, в связи с отрицательным действием, которое оказывает динаatronный эффект на работу усилительных ламп, с другой, — в связи с исследованиями по электронной диффракции от металлических кристаллов, возрастает число работ, посвящённых вторичной эмиссии. В Советском Союзе первое исследование по вторичной эмиссии, появившееся в 1920 г., принадлежит П. И. Лукирскому и Н. Н. Семёнову; в этой работе ими был измерен коэффициент вторичной эмиссии для ртути и изучена его зависимость от энергии первичных электронов. Хотя численные данные, полученные Лукирским и Семёновым, в настоящее время не могут рассматриваться как точные, ввиду несовершенства вакуумной техники того вре-

мени, но предложенное ими качественное объяснение хода наблюдавшейся зависимости является совершенно правильным.

Резкий перелом в темпах исследований по рассматриваемому вопросу относится к 1934—1936 гг. Изобретение в 1934 г. Л. А. Кубецким многокаскадного электронного умножителя (изобретение повторено вскоре за тем Зворыкиным в Америке, Вейссом и рядом других в Германии) вызвало повышенный интерес ко вторичной эмиссии и в последующие годы появляется целый поток работ по физике и технике вторично-электронной эмиссии\*). В этих работах изучается механизм явления для простейшего случая чистой металлической поверхности и создаются предпосылки для понимания процессов, происходящих в сложных катодах, описываются новые поверхности, обладающие большим коэффициентом вторичной эмиссии, предлагаются многочисленные, всё более совершенные конструкции электронных умножителей. Работы советских учёных в данной области в течение всего этого времени развиваются исключительно успешно и занимают ведущее место в мировой науке.

Остановимся сначала на физических исследованиях, а затем на работах технического характера.

В 1938—1939 гг. Вятским было начато построение строгой квантово-механической теории явления для случая чистого металла. Подвергнув основательной критике предложенную ранее теорию Фрелиха, Вятский трактовал, однако, всю проблему как чисто поверхностную, исходя из зоммерфельдовской модели металла. Поэтому, хотя теория в этом виде и представляла ценность и интерес при анализе экспериментальных данных для чистых щелочных металлов в области малых энергий первичных электронов, она не могла дать правильного описания явлений при больших энергиях, когда значительно большую роль начинает играть ионизация электронов, связанных с атомными остатками. Позднее, в 1944 г., Вятский существенно развил и дополнил свою теорию. В его новых работах вторичная эмиссия металлов рассматривается как явление, обусловленное сложением поверхностного и двух объёмных эффектов, разыгрывающихся на «свободных» электронах решётки и атомных электронах. Объёмным эффектом свободных электронов определяется тонкая структура функции распределения вторичных электронов по энергиям, тогда как поверхностный эффект даёт основной ход функции распределения. На долю обоих объёмных эффектов приходится приблизительно 10—20% от общего вторичного испускания. Для теории электронной эмиссии из металла представляет интерес построенная Вятским в этих же работах теория поглощения электронов (первичных и вторичных) внутри металла за счёт их взаимодействия с электронами металла.

\*) За 5 лет с 1935 по 1941 г. в журналах Советского Союза опубликовано около 60 работ, посвящённых вторичной эмиссии, за все предыдущие годы — 5—6 работ.

В теоретических работах Кадышевича вторичная эмиссия рассматривается как объёмный эффект, как процесс ионизации, происходящий в толще вторичного катода. Ионизационная теория даёт согласную с опытом зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии электронов и, будучи применена к полупроводящим поверхностям, объясняет причину большой величины этого коэффициента у сложных катодов. Правда, величина коэффициента вторичной эмиссии подсчитывается в данной теории только очень приближённо. Но не следует забывать того, что мы до сих пор не располагаем достаточными познаниями о поведении медленных электронов, зарождающихся в процессе эмиссии в толще катода, в особенности если его внутреннее строение столь сложно, как это имеет место у современных эмиттеров.

Экспериментальные исследования вопроса развёртывались весьма широким фронтом. В 1936 г. в работах Афанасьевой и Тимофеева, раньше известных работ де-Бура, был разъяснён важный вопрос о величине коэффициента вторичной эмиссии  $\sigma$  для чистых щелочных металлов и было доказано, что последние имеют величину  $\sigma$  меньшую (а не большую), чем другие чистые металлы. Применённая в опытах Афанасьевой и Тимофеева методика для исследования вторичной эмиссии — нанесение на металлическую подкладку слоёв атомов другого металла постепенно возрастающей толщины — оказалась весьма полезной для изучения механизма явления и широко применялась в дальнейшем.

Работами Хлебникова и его сотрудников была подробно выяснена роль поглощённых и адсорбированных газов на вторичную эмиссию чистых металлов. Недавние тщательные опыты Морозова (1941 г.) не только дали достоверные и точные значения для коэффициента вторичной эмиссии многих чистых металлов, но и подтвердили выводы Кушнира и его сотрудников о независимости вторичной эмиссии чистых металлов от температуры в широких пределах её изменения. В этой же работе было изучено влияние на вторичную эмиссию перехода металла через точку плавления.

Автором совместно с Бернатовичем в 1937 г. была с должной подробностью изучена зависимость коэффициента вторичной эмиссии от угла падения первичных электронов. Возрастание вторичной эмиссии при наклонном падении первичного пучка было установлено как для чистой металлической поверхности, так и для сложного кислородно-цезиевого эмиттера. Позднее этот вопрос детально изучался в ряде работ (1941 — 1946 гг.) Кушнира и его сотрудников, причём в них было рассмотрено не только влияние угла падения электронного пучка на суммарную вторичную эмиссию, но был выяснен такой трудный для экспериментального исследования вопрос, как влияние угла на функцию распределения вторичных электронов по энергиям. В лаборатории Кушнира была также изучена зависимость функции распределения вторичных электронов от угла вылета. Исследование зависимости вторичной эмиссии от угла падения первичного пучка

имеет значение в практике конструирования электронных умножителей, а истолкование получаемых экспериментальных данных важно для понимания механизма явления. В частности, некоторые представления, развитые в упомянутой работе автора и Бернатовича, использовались в дальнейшем при построении ионизационных теорий вторичной эмиссии.

Вторичная эмиссия чистых полупроводников впервые исследовалась в работах Афанасьевой и Тимофеева и Фримера, вторичная эмиссия диэлектриков — в работах Вудынского и, особенно обстоятельно, с применением новой методики, в работах Космана и его сотрудников.

Изучение эффективных эмиттеров, т. е. поверхностей, обладающих большим коэффициентом вторичной эмиссии, находится в тесной связи с так называемым эффектом Малтера. Этим термином обозначается происходящее в ряде случаев наложение автоэлектронной эмиссии на истинную вторичную эмиссию поверхности. Провести границу между обоими явлениями — чистой вторичной эмиссией и эффектом Малтера — часто бывает очень трудно. Этот круг вопросов имеет большое значение и в принципиальном отношении, с точки зрения выяснения механизма вторичной эмиссии неметаллических поверхностей, и в практическом, поскольку лишь среди такого рода поверхностей мы находим эффективные эмиттеры вторичных электронов. Естественно, что данное направление исследований вызвало большой интерес со стороны советских физиков и явилось предметом оживлённой дискуссии. Некоторые исследователи, прежде всего Тимофеев и его школа, считают, что вообще значительные коэффициенты вторичной эмиссии полупроводящих эмиттеров ( $\sigma > 2 + 3$ ) уже свидетельствуют о наличии эффекта Малтера особого рода, в то время как другие исследователи (Моргулис, Зернов, Хлебников) считают, что истинная вторичная эмиссия может давать значения  $\sigma$ , достигающие до 10 — 12.

В результате, в настоящее время имеется обширная серия работ советских физиков, посвящённая исследованию эмиттеров полупроводящего типа. В ходе этих работ было выяснено распределение эмиттируемых электронов по энергиям для ряда поверхностей и обнаружено существование, в случае типично «малтеровских» эмиттеров, двух групп электронов, — истинно вторичных и «автоэлектронов». Кроме того, было измерено падение потенциала в слое полупроводника, дающего большие значения  $\sigma$ , и показано экспериментально наличие скачкообразных переходов от эмиссии обычного типа к малтеровской эмиссии при изменении толщины полупроводника (Зернов). Для многих эффективных эмиттеров была определена температурная зависимость от плотности первичного тока, скорости первичных электронов и т. д.

Существенно, что все эти исследования, помимо получения данных, представляющих чисто физический интерес, привели к тому, что мы располагаем сейчас целым «арсеналом» вторично-эмиттирующих поверхностей, обладающих большим коэффициентом вторичной

эмиссии, устойчивых в работе и допускающих значительные нагрузки. Особенно интересными в этом отношении являются разработанные Арановичем в лаборатории Тимофеева кислородно-магниевые эмиттеры, дающие  $\sigma$  порядка 30—50 (вместо обычных в технике значений 8—10) и выдерживающие температуру до 1000° С. Следует указать также на разработанные в лаборатории Кубецкого медно-серно-цезиевые эмиттеры, оказавшиеся особенно пригодными для применения в фотоумножителях магнитного типа с катодом на стекле.

Переходя непосредственно к техническим применениям вторичной эмиссии, мы снова должны отметить, что пионером в этой области является Л. А. Кубецкий. Если сама идея усиления токов за счёт использования вторичной эмиссии относится к сравнительно давнему времени, то лишь Кубецкий не только предложил конкретную конструкцию многокаскадного умножителя, но и построил в 1934 г. действующий экземпляр прибора. В последующие годы в лабораториях завода «Светлана», ВЭИ и Института телемеханики Кубецким, Векшинским, Тимофеевым были созданы многочисленные варианты фотоумножителей и электронных ламп с использованием вторичной эмиссии, обладающих большой крутизной. Известным тормозом в развитии этих ламп до последнего времени являлось отсутствие достаточно эффективных и термически стойких эмиттеров, однако, в связи с разработкой кислородно-магниевых и бариевых катодов это затруднение и видимо может считаться преодоленным.

Было бы неправильным, однако, обойти молчанием тот факт, что первоначальные радужные надежды на необычайно широкие применения электронных умножителей, на револьюцию, которую они произведут в усилительной технике, оказались преувеличенными. В соревновании двух систем — лампового усилителя и электронного умножителя — победил, как правило, оказывается на стороне более старой, но доведённой уже до очень высокой степени совершенства ламповой схемы. Умножитель сам не свободен от ряда недостатков, он не стандартизован в такой мере как электронная лампа, он менее стабилен. Его преимущества велики там, где требуется огромное усиление слабых сигналов высокой частоты, например в телевидении, ибо отношение сигнала к шуму оказывается у него более благоприятным, чем у ламповой схемы. В звуковом кино применение умножителей возможно, но вопрос о наиболее рациональной системе (ламповый усилитель, фотоумножитель или серно-таллиевый фотоэлемент с запирающим слоем) остаётся ещё открытым.

#### 4. ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ

Исторически первыми работами были здесь, так же как и в области фотэфекта, работы чисто физические и притом теоретического характера.

Как известно, в исследованиях Чайльда и Лэнгмюра в 1911—1913 гг. была решена задача о нахождении величины электронного

тока в вакууме при наличии пространственного заряда в предположении отсутствия начальных скоростей для плоского и цилиндрического случая (закон «трёх вторых» Лэнгмюра). Для цилиндрического случая решение было найдено, однако, только приближённо, и лишь в 1923 г. одновременно и независимо друг от друга в Советском Союзе Богуславским и в США Лэнгмюром и Блоджет было получено точное решение. Работа Богуславского содержит полное и строгое исследование вопроса, но, будучи опубликована уже после смерти автора в 1924 г. в мало распространённом журнале, она, к сожалению, осталась неизвестной большинству последующих исследователей.

Среди ранних работ в этой области должна быть также отмечена работа Павлова и других, опубликованная в 1923 г., посвящённая исследованию движения электронов между двумя плоскими сетками. В этой работе было учтено наличие начальных скоростей у электронов (они предполагались одинаковыми), причём впервые была обнаружена некоторая неоднозначность решения, — при определённых условиях значения тока, проходящего через прибор, не определяются полностью значениями потенциала на электродах. И эта работа оказалась забытой, и результаты Павлова были повторены значительно позднее в трудах зарубежных исследователей.

К 1918 — 1919 гг. относятся первые советские работы по радиолампам. В эти годы в Нижегородской радио-лаборатории под руководством Бонч-Бруевича и Остроумова были заложены основы советской электровакуумной промышленности и были произведены первые экспериментальные исследования электронных явлений в лампах.

Экспериментальные исследования по термоэлектронной эмиссии с различных поверхностей, принадлежащие советским физикам, появились позднее. Основной комплекс этих работ неразрывно связан с физической лабораторией завода «Светлана» (руководимой в течение ряда лет Векшинским и Лукирским), которая сыграла исключительную роль в деле создания советских электровакуумных приборов. Среди этих работ отметим изящные опыты Векшинского, Лукирского, Созиной и Царёвой (1930 г.) по изучению влияния на термоэлектронную эмиссию подкладки чужеродных атомов, адсорбирующихся на поверхности металла. Эти опыты, а также исследования Птицына, Берденниковой, Моргулиса и его сотрудников, Равделя, Ансельмана, Козляковской явились исходным моментом в обширной работе по изучению сложных накаливаемых катодов различных типов, по разработке и усовершенствованию технологии сначала торированного и карбидированного, а затем оксидного и бариевого катода.

Прогресс в этой работе обеспечил высокие параметры современных радиоламп и других вакуумных и газонаполненных приборов. Касаясь технологических вопросов, нельзя пройти мимо той большой и цен-

ной работы, которая была выполнена в области электровакуумной технологии недавно скончавшимся работником завода «Светлана» инженером и физиком Ивановым. Очень многое в деле создания советских радиоламп было сделано Векшинским, Шапошниковым, Зусмановским. Последнему ещё в 1941 г., совместно с Кацманом и Мошковичем, была присуждена Сталинская премия за изобретение низковольтных приёмноусилительных ламп.

Среди исследований чисто физического характера отметим работы Руткевича, Моргулиса и Дятловицкой, которые изучали электронную эмиссию торированного вольфрама. Добрецов и Морозов исследовали испарение бария с вольфрама и определили теплоту адсорбции атомов Ва, а также время адсорбции Ва при различных покрытиях и температурах.

Эффект Шоттки для термоэлектронной эмиссии изучался в работах Добрецова и Моргулиса. В частности, в одной из более поздних работ (1941 г.) Добрецов применил для исследования и однозначного определения изменения работы выхода под влиянием внешнего электрического поля тепловой метод. Он произвёл тщательное измерение скрытой теплоты испарения электронов при различных внешних полях и показал, что изменение скрытой теплоты испарения соответствует тому изменению работы выхода, которое даётся теорией Шоттки.

Интересные работы по исследованию поведения оксидного катода в импульсном режиме были недавно (1944 — 1946 гг.) опубликованы Андриановым, Моргулисом, Калашниковым и др. Детальное выяснение этого вопроса имеет весьма существенное значение при решении многих задач современной радиотехники.

Здесь нет возможности систематически разбирать работы советских физиков и техников по развитию и усовершенствованию электронных ламп и анализа их действия — это относится к области радиотехники, но мы остановимся всё же на одной серии исследований, в которой советскими учёными сделано много нового и оригинального.

Развитие техники у. к. в., связанное с успешной разработкой магнетронного генератора, вызвало усиленный интерес к разяснению механизма работы магнетрона. В ряде статей, начало публикации которых относится к 1934—1935 гг., Гринберг, совместно с Лукошковым и рядом других работников завода «Светлана», рассчитали поля в разрезном магнетроне и, на основе предложенного Гринбергом графоаналитического метода, смогли построить электронные траектории в этих полях. В результате, удалось исчерпывающе разяснить неясные до того причины отрицательного сопротивления магнетрона, опровергнув существовавшие ранее неверные теории этого явления. Существенное значение для радиотехники имело также рассмотрение задачи для неразрезного магнетрона — нахождение поля, определения зависимости силы тока от магнитного поля и т. д. Для «плоского»

магнетрона эта задача была решена Брауде в 1936 г., для цилиндрического магнетрона полное решение задачи было дано впервые в 1938 г. в работе Гринберга и Волькенштейна, в которой даны, в частности, формулы определения длины волны пролётных колебаний в зависимости от размеров и приложенных полей.

Другая группа работ тех же исследователей также связана с ростом значения техники у. к. в. Как известно, Бенэмом было положено начало теории прохождения электронного тока, при ограничении его объёмным зарядом, через плоский диод при столь высоких частотах приложенного напряжения, когда период высокочастотного поля сравним со временем пролёта электронов через прибор. В 1935 г. Гринберг, наряду с новыми исследованиями плоского случая, дал впервые полное принципиальное решение и для цилиндрического диода. В работе Гринберга и Близнюка в 1938 г. соответствующие вычисления были доведены до определения технически наиболее интересной величины комплексного импеданса цилиндрического диода на высокой частоте. Наряду с этим, Гринбергом были подробно исследованы начальные стадии прохождения электронного тока через диод при включении импульса напряжения на анод (движения «электронного фронта» и сопутствующее ему формирование объёмного заряда).

Мы отметили выше значение теоретических работ по исследованию магнетрона. Экспериментальной разработкой и исследованием магнетронов помимо завода «Светлана» с успехом и с давнего времени занималась Грехова, сначала в Москве, а последние годы в Горьковском физико-техническом институте. Ей же принадлежат ценные работы по электронно-лучевым лампам. Обширные экспериментальные исследования по магнетронам были выполнены кроме того Слуцкиным, которому принадлежит также ряд теоретических расчётов в этой области.

## 5. ПОВЕРХНОСТНАЯ ИОНИЗАЦИЯ И ИОННАЯ ЭМИССИЯ

Явление поверхностной ионизации было обнаружено Лэнгмюром и Кингдоном в 1923—1924 гг. для случая ионизации атомов цезия на поверхности раскалённого вольфрама. Тогда же была предложена известная формула Лэнгмюра-Саха, определяющая температурную зависимость этого явления. Самый объект исследования (цезий на вольфраме), однако, не позволял выполнить полноценную проверку тех положений, которые легли в основу теории этого вопроса, так как атомы цезия испытывают практически 100% ионизации во всём интервале температур, удобном для исследования. Поэтому только значительно позднее, в работах Добрецова и Моргулиса, относящихся к 1934 г. и выполненных для случая ионизации калия, натрия и бария на поверхностях вольфрама, молибдена и тантала, температурная зависимость ионной эмиссии впервые была надёжно исследована,



и применимость формулы Лэнгмюра-Саха полностью доказана. Особенно тщательно были выполнены опыты Добрецова, который пользовался при исследовании явления весьма совершенной методикой молекулярных пучков. Следует подчеркнуть, что интересный случай поверхностной ионизации атомов натрия на вольфраме (ионизационный потенциал Na больше работы выхода  $W!$ ) раньше вообще не был исследован.

В те же годы Моргулисом и его сотрудниками было изучено обратное явление, — нейтрализация ионов щелочных металлов на металлических поверхностях.

Изучение поверхностной ионизации на сложных катодах было начато в Советском Союзе. В 1934 г. Добрецов предпринял исследования поверхностной ионизации на торированном вольфраме и в дальнейшем подробно проанализировал все стороны этого явления. Интерес и значение этих работ выходили далеко за рамки самого эффекта поверхностной ионизации. По сути дела эти работы явились первым экспериментальным доказательством наличия «пятнистой структуры» у сложных катодов. Электроннооптические исследования были выполнены позднее, и известные соображения Лэнгмюра, Кингдона и Беккера о «пятнах тория на вольфраме» носили в те годы характер гипотетических построений. Таким образом, поверхностная ионизация может быть использована как новый метод, пригодный для изучения структуры сложных катодов. Она удачно дополняет при этом термоэлектронные исследования, в которых, в сущности, изучаются участки катода с минимальной работой выхода, в то время как поверхностная ионизация особенно легко происходит на участках с максимальной работой выхода.

Позднее, в 1936 г., Добрецов, в результате дискуссии с Моргулисом, показал, что влияние электрического поля на поверхностную ионизацию в широком интервале полей сводится к эффекту Шоттки для ионов. В 1937–1938 гг. Добрецовым и Конозенко, Моргулисом и Дятловицкой было впервые изучено влияние электрического поля на поверхностную ионизацию на торированном вольфраме («аномальный эффект Шоттки для ионов»). Весь этот круг вопросов был поставлен и полностью разъяснен работами советских физиков.

В 1937 г. Ионовым, по предложению Лукирского, было начато изучение поверхностной ионизации атомов с образованием отрицательных ионов. В 1940 г. Дукельским и Ионовым была опубликована работа, в которой исследовалось образование отрицательных ионов галоидов при взаимодействии щелочно-галоидных молекул с поверхностью раскаленного вольфрама. В этих работах, продолжавшихся затем Ионовым, была предпринята проверка применимости формулы Лэнгмюра-Саха к ионизации этого рода. Ценность данного направления исследований заключается в возможности прямого измерения электронного средства различных атомов, которое лишь с трудом может быть определено иным способом. Подобные же исследования

проводились в течение ряда лет в Ташкенте, куда были перенесены начатые в 1935 г. Стародубцевым в лаборатории Лукирского опыта по поверхностной ионизации щелочно-галлоидных солей. Было выяснено, что изучение температурных характеристик и абсолютных коэффициентов этого типа ионизации может дать способ определения теплот реакций на поверхности металла. Там же Шуппе и Арифовым производилось изучение положительной ионизации солей и отрицательной ионизации галоидов на торированном вольфраме.

К рассматриваемому кругу вопросов примыкают работы Павлова и Морозова (1935—1940 гг.) по изучению ионной эмиссии различных химических соединений и работы Павлова и Стародубцева по исследованию взаимодействия медленных и быстрых ионов с металлами и плёнками полупроводников. Большой экспериментальный материал, накопленный в результате всех этих опытов, требует дальнейшей разработки и систематизации, так как он может развиваться в своеобразный раздел поверхностной химии.

Совсем недавно (1946—1947 гг.) Добрецов, Стародубцев и Тимохина обнаружили новый тип поверхностной ионизации — ионизацию атомов металла на тонких плёнках окислов тех же металлов. Наблюдаемые явления не укладываются в рамки обычной теории и заслуживают дальнейшего внимательного изучения.

## 6. ЭЛЕКТРОННАЯ ДИФФРАКЦИЯ

По сравнению с другими разделами электроники число работ по электронной диффракции, выполненных советскими учёными, невелико, но многие из них оказались существенными для развития этой области.

Прежде всего здесь следует отметить работы одного из пионеров исследований по электронной диффракции Тартаковского, проводившиеся им, начиная с 1927 г., в Ленинграде и в Томске. Интересны работа Колпинского по изучению поликристаллических тонких слоёв с ориентированными кристаллами и работа Колпинского и Фока, в которой теоретически и экспериментально была исследована электронная диффракция от деформированного кристалла; эти работы проводились в физическом институте ЛГУ. Там же Алиханьян и Косман изучали электронную диффракцию релятивистских электронов.

В работе Лашкарева и его сотрудников исследовалась диффракция медленных электронов и была установлена зависимость показателя преломления электронных волн на границе кристалла от скорости электронов. Лашкаревым и Усыкиным электронная диффракция была применена для выяснения пространственной структуры молекул нашатыря.

Кроме экспериментальных работ в этой области советскими физиками был выполнен и ряд теоретических исследований (Тартаковский, Лашкарев, Калашников и др.).

## 7. ЭЛЕКТРОННАЯ ОПТИКА

Вопросы электронной оптики сравнительно поздно привлекли внимание советских физиков, — все опубликованные работы, относящиеся к этой области, падают на последние 7—8 лет. Тем не менее работы советских учёных существенно обогатили этот раздел электроники и глубокими теоретическими исследованиями, и новыми идеями, и оригинальными конструкциями электронно-оптических приборов.

Общеизвестно, какое значение в современной ядерной физике имеет искусственное получение ионов с большой энергией. Наилучшим методом получения таких ионов является циклотрон; однако релятивистское возрастание массы частицы при её ускорении существенно ограничивает возможности этого замечательного инструмента. В течение ряда лет казалось, что единственной возможностью заметного продвижения в сторону больших энергий является увеличение напряжения на дуантах циклотрона, что требовало наличия большого зазора между полюсами, и должно было увеличить и без того огромные габариты мощных циклотронов. Совершенно новый принцип был выдвинут Векслером в начале 1945 г., — он предложил воспользоваться открытым им методом «автофазировки». Как оказалось, путём медленного изменения частоты, прикладываемой к дуантам, возможно резко повысить предельную энергию ионов без изменения габаритов циклотрона. Выводы Векслера были вскоре повторены в Америке и в настоящее время циклотрон с модулированной частотой, повидимому, является одним из наиболее совершенных орудий прикладной ядерной физики.

Интересные работы принадлежат советским физикам и в области решения вопроса об ускорении электронов. Ещё в 1939 г., задолго до известной работы Керста, в Харьковском физико-техническом институте Кельманом, Корсунским и Ланге было сконструировано магнитное электронное зеркало и были начаты работы по его применению к построению «квадротрона», — прибора для многократного ускорения электронов. К сожалению, эти работы, так же как и теоретические исследования Терлецкого (1941 г.), который независимо от Керста подвергнул новому рассмотрению идею Видероз о создании электронного трансформатора, были прерваны войной.

Также в Харькове, в работах Корсунского, Кельмана и Петрова был впервые предложен и осуществлён экспериментально светосильный  $\beta$ -спектрограф с неоднородным магнитным полем, позволяющий получить безабберационную фокусировку широкоугольных (до  $40^\circ$ ) электронных пучков.

Исключительный интерес представляют опубликованные в 1942 г. исследования Гринберга по общей теории фокусировки электронов в электростатических и магнитных полях. Значение этой работы для

современной электроники заключается в том, что она устанавливает некоторые общие законы движения заряженных частиц под действием электрических и магнитных сил и тем самым определяет условия фокусировки электронных и ионных пучков. Уже давно были рассмотрены некоторые специальные случаи движения электронов в электрических и магнитных полях, для которых имела место фокусировка электронных лучей, аналогичная фокусировке лучей света в оптических приборах. Анализом этих специальных случаев и занималась до сих пор теоретическая электронная оптика, и мы отметили во введении, сколь разнообразны и интересны были практические результаты этих исследований. Для дальнейшего развития науки настоятельно требовалось, однако, существенное развитие теоретической электронной оптики. Необходимость расширения теоретического базиса электронной оптики уже давно осознана работающими в этой области, но до появления названных исследований никому не удавалось существенно продвинуться в направлении решения общей задачи о фокусировке электронов. Результаты, полученные Гринбергом, образуют настоящий фундамент электронной оптики и сейчас эта область, в теоретическом отношении, приблизилась к своему завершению.

Решение задачи было найдено в рассматриваемой работе совершенно оригинальными методами, представляющими большой самостоятельный интерес с точки зрения теоретической механики. Обычно в механике задача о движении частиц ставится так, что сначала задаётся поле сил, а затем исследуется движение в этом поле. При этом геометрические свойства траекторий выясняются только в конце расчёта. В данной работе основная проблема динамики была, если можно так выразиться, вывернута наизнанку. Исходя из практической необходимости управлять по произволу формой электронных траекторий, Гринберг поставил своей задачей выяснение возможности подобрать электрическое или магнитное поле к пучку траекторий заданного вида. Эта новая постановка задачи полностью себя оправдала, удалось не только выяснить, в каких условиях возможна фокусировка электронных траекторий, но и дать формулы для определения полей, соответствующих заданной форме пучка.

В 1944 г. Арцимович опубликовал важную теоретическую работу, посвящённую рассмотрению электронно-оптических свойств эмиссионных систем. С такими системами мы имеем дело во всех приборах, в которых получают изображения объектов, испускающих медленные электроны; примерами могут служить эмиссионный электронный микроскоп, телевизионный диссектор, электронные пушки кинескопов. Теория таких систем, несмотря на их большое практическое значение, до анализа, проведённого Арцимовичем в рассматриваемой работе, была разработана совершенно неудовлетворительным образом. Арцимович не только нашёл оригинальным методом решения соответствующих дифференциальных уравнений траекторий электронных

лучей для этого случая, но и произвёл вычисление разрешающей силы и главных электронно-оптических aberrаций этих систем.

Электронная оптика в течение последних лет применялась для анализа траекторий электронных пучков в электронных умножителях (Рик, Кормакова). Электронно-оптические исследования накаливаемых катодов были выполнены Моргулисом, сурьмяно-цезиевого фото-катаода — Брежневым.

Прекрасным итогом обширной работы в области экспериментальной электронной оптики, производившейся в течение нескольких лет в Государственном оптическом институте акад. А. А. Лебедевым и его сотрудниками, явилось создание ими отечественных образцов электронных микроскопов. За эти работы в 1947 г. Лебедеву, Веринеру и Зандину была присуждена Сталинская премия.

---

Мы постарались охарактеризовать на предыдущих страницах тот вклад, который был сделан советскими физиками в электронику на протяжении истекших лет. Не приходится сомневаться, что в годы, наступившие за исторической победой Советского народа в годы величайшего хозяйственного и культурного расцвета страны, советскими физиками будет вписано ещё много блестящих страниц в эту амбициозную область современной физики.

---