

**К ТРИДЦАТИЛЕТИЮ СОВЕТСКОЙ ФИЗИКИ**

**ТРИДЦАТЬ ЛЕТ СОВЕТСКОЙ ОПТИКИ**

**Т. П. Кравец**

**1. ОПТИКА В ДОРЕВОЛЮЦИОННОЙ РОССИИ**

Интерес к оптике, практической и научной, отмечается уже на самых ранних стадиях развития русской науки. В Физико-математическом институте Академии Наук ещё недавно можно было видеть огромные вогнутые зеркала, шлифованные руками сподвижника Петра, известного Брюса. Член С.-Петербургской Академии Леонард Эйлер разработал здесь один из первых опытов волновой теории света, а другой её член — первый действительно русский академик — Ломоносов, запальчиво полемизировал с «Невтоновой теорией проходного движения эфира» — с эмиссионной теорией света. На рубеже XVIII и XIX вв. русский академик Паррот предлагал новую разновидность корпускулярной теории света, наделяя «световую материю» рядом химических свойств.

Ближе к нашему времени московский профессор А. Г. Столетов производит ряд замечательных исследований «актиноэлектрических явлений», т. е. фотоэффекта. В самом начале 90-х годов молодой П. Н. Лебедев выступает со статьёй, в которой указывает на световое давление как на причину отступления от ньютонова закона тяготения для малых космических тел. Он же, позже, прославляет и своё имя и русскую науку двумя знаменитыми работами, доказавшими существование светового давления на твёрдые тела и на газы. В связи с этими работами другой наш соотечественник, казанский профессор Гольдгаммер, публикует замечательное теоретическое исследование сил светового давления. Юрьевский профессор А. И. Садовский предсказывает разные интересные случаи вращательного действия световых лучей. Позднее этими же вопросами с электронной точки зрения занимается К. Н. Шапошников. А. А. Эйхенвальд даёт замечательную физическую интерпретацию явлений при так называемом полном внутреннем отражении. Теоретические исследования по дисперсии света и по магнето-электрическим явлениям публикует тот же Д. А. Гольдгаммер.

Из немногих оптоотехников того времени упомянем В. Н. Чиколева с его классическим методом контроля качества прожекторного зеркала. По разделу источников света необходимо напомнить талантливейшее изобретение «свечи Яблочкова».

До сих пор сохраняют своё значение замечательные опыты А. А. Белопольского и Б. Б. Голицына, которыми они доказали существование эффекта Допплера-Физо. Н. П. Кастерин даёт теорию распространения света в среде, наполненной шарами-резонаторами, а также в среде слоистого строения. Е. А. Кириллов (Одесса) проверяет эту теорию непосредственным опытом.

Следует упомянуть относящееся к тому же времени начало замечательных работ по рассеянию света Л. И. Мандельштама — его знаменитую полемику с Планком, в которой он раскрыл принципиальную ошибку, допущенную знаменитым физиком; необходимо также назвать его столь же замечательную экспериментальную работу о рассеянии света на границе двух сред.

Назовём далее работы П. П. Лазарева по выцветанию красителей; работу Т. П. Кравца по природе широких полос поглощения и его же работу по электронной теории светового давления; несколько исследований Г. И. Покровского по интерференции; работу В. И. Эсмарха (Варшава) по сущности явлений при отражении света.

Наконец, к этому же периоду относятся две классические работы того времени: работа А. И. Иоффе по элементарному фотоэффекту и работа Д. С. Рождественского по аномальной дисперсии в парах натрия.

Этот список, не претендующий на полноту, показывает, что работа по оптике стояла в российской дореволюционной физике на хорошем уровне и была представлена рядом учёных, которые могли создать — и действительно создали в дальнейшем — свою школу и своё собственное направление. Наряду с этим, бросается в глаза распылённость этих усилий, отсутствие объединяющего центра, недостаточная направленность всей работы. Это и не мудрено: в дореволюционной России отсутствовала главная предпосылка такой работы — развитая и предъявляющая к науке свои запросы оптическая промышленность и сопредельные с ней отрасли производства. Всю свою потребность в оптических изделиях страна почти целиком покрывала импортом. Внутри страны было только несколько сравнительно небольших отделений иностранных фирм: Цейсса, Герца, Краусса, Шнейдера (Крезю). Кроме этих предприятий полукустарного типа, можно указать только оптический цех Обуховского завода (впоследствии самостоятельный завод — «ЛОМЗ»), да только что открывшиеся в Москве мастерские Таубера и Цветкова, ставившие себе, между прочим, и научные задачи, под руководством Б. С. Шведова. Уже почти перед самой войной 1914—1918 гг. царское правительство, желая стимулировать землемерные работы, в связи с

пресловутой земельной политикой Столыпина, с помощью правительственных субсидий создало ряд небольших предприятий для производства геодезических приборов (Трындына, Громова, Швабе и др.).

Не было кадров, необходимых для оптической промышленности, — инженеров, мастеров, рабочих. Не было вычислителей оптических систем. Единственным специалистом этого дела был до войны 1914 г. проф. А. Л. Гершун. Он скончался в 1915 г. Не было учебных заведений для подготовки специалистов-оптиков всех квалификаций. Как исключение, можно назвать Ремесленное училище цесаревича Николая в Петербурге под руководством Н. Б. Завадского. В нём преподавались также элементы оптического производства. Но так как требований на специалистов-оптиков не поступало, эту специальность выбирали только единицы. Уже после войны оно было преобразовано сначала в техникум, а потом — в Институт точной механики и оптики.

Во всей стране не было ни одного завода оптического стекла, и этот необходимый материал целиком выписывался нами из Германии от фирмы Шотта в Иене. Только перед самой революцией было принято постановление о создании одновременно двух заводов оптического стекла — в Петрограде и в Изюме.

Если страна не была обеспечена военной оптикой, то это выразилось ещё гораздо острее для всех видов гражданских оптических приборов: не было ни своих проекционных фонарей, ни фотоаппаратов, ни микроскопов, ни спектральных приборов, ни поляриметрической аппаратуры. Вся киноаппаратура тоже была заграничная. Примеры такого рода можно было бы множить до бесконечности.

По фотоматериалам было несколько кустарных фабрик пластинок, работавших на импортном сырье.

Лампы для освещения были большей частью импортные, а изготовление их в небольшом количестве в нашем отечестве также производилось на импортном сырье и аппаратуре (вакуумные установки, вольфрамовая проволока и пр.).

## 2. ОПТИКА ПОСЛЕДНИХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ

Как известно, перед самой войной 1914 г. началась энергичная работа по перестройке здания теоретической оптики — классической электромагнитной оптики начала XX в. — на новый лад. Старая оптика — оптика волн и колебаний квазиупругосвязанного электрона и электромагнитного эфира — после ещё недавно громких побед и успехов внезапно оказалась изжившей все свои возможности и неспособной указать пути к решению дальнейших задач и вопросов. Теория относительности выбила почву под зданием светового эфира. Теория квантов, или фотонов, заострила внимание на всех неудачах, на всех узких местах старой теории: на явлениях фотозффекта, теплового излучения и, наконец, работами Нильса Бора, на спектральных закономерностях. Во всех этих областях квантовая теория давала

лёгкое и правильное решение, чем заслоняла своё неумение справиться с такими основными задачами, как объяснение интерференции, дифракции и поляризации. Блестящий успех модели атома, предложенной Бором и получившей ближайшее развитие в трудах А. Зоммерфельда, был завершён новой систематикой сначала атомных, а потом и молекулярных спектров. Углублённое понимание механизма возбуждения отдельных линий повлекло за собой усиленное внимание к новым, газосветным источникам света. Явились новые подтверждения квантовой природы света — явления Комптона, Рамана, квантовой стала фотохимия, квантовым стало учение о люминесценции.

Потерпели радикальные изменения и все отрасли промышленности, так или иначе связанные с оптикой. Прежде всего, автоматизация проникла в изготовление большинства массовых объектов производства и тем изменила во многих случаях привычный вид оптического инструмента. Появились объективные фотометры разных назначений, основанные на применении фотоэлементов. Фотоэлементы завоевали громадное поле приложения для сигнализации и измерительной техники. Колоссально возросло значение оптических методов проверки и контроля во многих отраслях промышленности.

Сильно изменилась световая техника. Постепенно, в начале послевоенного периода, исчезли прежние пустотные лампы накаливания, вытесненные газонаполненными лампами. Последние заставили исчезнуть и старую уличную дуговую лампу. Она осталась только в физических кабинетах и в мощных прожекторных установках. А в самое последнее время мы наблюдаем в заграничных специальных журналах громадный «бум» по поводу новых люминесцентных ламп.

Из фотографии исчезли старые несенсибилизированные материалы. Пластика явно уступает своё первенствующее место плёнке. Сенсибилизация проникает в близкую инфракрасную часть спектра и практически разрешает задачу о фотографировании через «дымку» атмосферы на расстояния в сотни километров. Чувствительность слоёв в практической фотографии увеличилась в десятки раз. Сказаны новые слова в цветном фото и цветном кино — сначала в так называемом гидротипном методе, а потом — в трёхслойном поливе. За тридцать лет немое кино отжило свой век и заменилось озвученными фильмами.

На международном рынке ощущается острый голод в сырье для поляризационной аппаратуры — естественных кристаллах. Несомненно, в связи с этим стоит изобретение новых поляризующих фильтров — так называемых поляроидов.

Старая задача об измерении и числовой характеристике цвета привлекает внимание таких корифеев науки, как Вильгельм Оствальд и Эрвин Шрёдингер.

Оптика одерживает огромные победы в сфере астрофизики. Она помогает разделить звёзды по классам, сообразно их истории и раз-

витию. Она устанавливает капитальный факт зависимости между расстоянием и радиальной скоростью удалённых астрономических объектов. Она поднимает на уровень первенствующего фактора действие сил светового давления как вне звёзд, так, в особенности, в тайниках их внутреннего строения.

Всё развитие советской оптики прошло под действием прежде всего вышеуказанных факторов: наличие квалифицированных, хотя вначале разрозненных, кадров, способных руководить научным исследованием в этой области; интенсивная работа по перестройке теоретической оптики и, наряду с этим, индустриализация страны, ставшая важнейшей задачей новой власти с первого дня её прихода, и творческий энтузиазм, проявленный советскими учёными в осуществлении этого великого лозунга, который, в данном случае, был усвоен их лучшими представителями даже ранее, чем советская власть, по военно-политическим обстоятельствам, смогла его поставить на практическую почву.

### 3. УЧАСТИЕ СОВЕТСКИХ УЧЁНЫХ В ПЕРЕСТРОЙКЕ ОСНОВ ОПТИКИ

Блокада и интервенция начала 20-х годов нашего века совершенно закрыли для советских учёных общение с Западом, и нам остались надолго неизвестными те работы по квантовой перестройке оптики, связанные преимущественно с именем А. Зоммерфельда, которые за это время были там произведены. Но в это время ту же задачу на нашей родине взял на себя Д. С. Рождественский и провёл её с большой широтой и блеском. Ряд его работ того периода («Спектральный анализ и строение атомов», «Значение спектральных серий», «Термы высокого порядка», «Сходство между спектрами одноэлектронных и сложных атомов», «Серии спектра ионизованного магния из сравнения со спектром ионизованного гелия») не только даёт решение тех же задач, какие ставила себе западноевропейская мысль, но в отдельных случаях решает их лучше и правильней. Не важно, что эти работы Д. С. Рождественского остались малознаменными за границей. Для нас они являются источником гордости, так как показывают, что наша молодая наука в тяжёлых условиях гражданской войны, отрыва от заграничных центров, сумела поставить и разрешить основные вопросы того времени и собрать вокруг них целую школу молодых учёных — будущую советскую школу спектроскопистов, о которой речь далее.

После основоположных работ по квантовой оптике, о которых мы сказали, крупнейшим событием было открытие в 1928 г. явления так называемого комбинационного рассеяния. Сущность этого открытия глубоко связана с квантовыми представлениями о природе света: если квант света улавливается молекулой, часть его энергии — некоторый меньший квант — может быть потреблена молекулой на её более медленные колебания; и наоборот — энергия кванта может

быть усилена за счёт ранее освоенного молекулой колебательного кванта. И в том и в другом случаях мы должны иметь изменение длины волны света, излучаемого обратно молекулой. Явление было весьма трудно наблюдаемым при тогдашнем уровне спектрографической техники — и по слабости новых линий испускания, и по их близости к основной, неизменной линии, которая должна была их заслонять своим блеском. Открыть его мог только большой специалист по вопросам рассеяния света, привыкший ко всем встречающимся здесь трудностям и не могущий принять новое явление за какие-нибудь вторичные побочные свечения, возникающие в приборе. Такие специалисты нашлись одновременно в двух далёких друг от друга концах мира. Один был Раман в Калькутте, другой — наш соотечественник Л. И. Мандельштам в Москве, вместе с Г. С. Ландсбергом. Юридические права на приоритет имеет Раман, сообщивший о своём открытии каблогаммой, а не обычным почтовым отправлением, как наши советские товарищи. Для нас достаточно сознания, что советские учёные были одновременными и независимыми родоначальниками нового этапа в развитии квантовой теории света. Своей последующей работой на этих путях они показали, сколько творческого начала они вложили в это дело.

Квантовое учение приводит к неминуемому выводу, что при очень слабых освещённостях, когда в глаз попадает в единицу времени весьма небольшое число квантов, должны наблюдаться флюктуации в величине наблюдаемой освещённости. Такой вывод сделан С. И. Вавиловым и такой опыт осуществлён им с рядом его сотрудников. К сожалению, в дело должен быть вмешан глаз — этот самый чувствительный из всех существующих приёмников световой радиации, но приобретающий эту исключительную чувствительность только в условиях долгого выдерживания в полной темноте. Да и то, для того чтобы удовлетворить условию попадания в глаз малого количества квантов, необходимо работать на самом пределе чувствительности глаза («метод гашения»). Результаты опытов недвусмысленны: флюктуации действительно наблюдаются. Они тем ощутительнее, чем освещённость меньше. Величина отступления всплеск от некоторого среднего зависит, как известно из статистических соображений, от участвующего в опыте абсолютного числа квантов, и последнее может быть вычислено из величины флюктуаций. Так мы имеем ещё одно экспериментальное подтверждение самого основного положения теории квантов-фотонов и, кстати, новый метод абсолютного измерения таких экстремно-слабых излучений. Опыты были начаты и закончены ранее каких-либо попыток в том же роде за границей.

Нам остаётся сказать ещё об одном весьма фундаментальном открытии, сделанном также в лаборатории С. И. Вавилова. Мы говорим о так называемом «излучении Черенкова». Такое название, по имени его исследователя П. А. Черенкова, получило явление свечения, наблюдаемого при прохождении через разные тела  $\gamma$ -лучей.

γ-лучи вырывают из атомов вещества электроны, приобретающие при этом громадные скорости, приближающиеся к скорости света в пустоте. Между тем, скорость света в веществе («фазовая» скорость) значительно меньше этой скорости. Мы имеем здесь, следовательно, приблизительно такие же условия, как при прохождении по поверхности воды, скажем, парохода, движущегося со скоростью, которая больше скорости распространения волн по поверхности воды. Все знают явление волн, следующих за пароходом при его движении и расходящихся назад от него двумя прямолинейными гребнями под некоторым углом к направлению его движения. Нечто подобное должно наблюдаться и здесь, но как-то необычно говорить в век теории относительности о скоростях, превышающих световую. Может быть, именно поэтому явление не сразу было понято, и потребовалось некоторое время, чтобы убедить всех в правильности его толкования. Опыты были повторены в Америке и дали полное подтверждение тех выводов, которые сделал из своих наблюдений П. А. Черенков, и той теории, которая была создана для явления С. И. Вавиловым, И. Е. Таммом и И. М. Франком. Относительно этого явления не возникает сомнения — оно целиком и полностью советское по своему происхождению.

Мы ограничимся этими четырьмя фактами, считая их открытие и исследование самым капитальным взносом советской оптики на путях перестройки самого здания этой науки. О других работах по разным отраслям оптики мы будем говорить позже в другой связи.

#### 4. СОВЕТСКАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И ДРУГИЕ СОПРИКАСАЮЩИЕСЯ С НЕЙ ОТРАСЛИ ПРОИЗВОДСТВА

За тридцать лет неузнаваемо изменился облик советской оптико-механической промышленности. Произошли следующие сдвиги: до 20-х годов — ни одного килограмма сваренного в нашей стране оптического стекла. Ныне — полное удовлетворение всех запросов промышленности этим основным материалом за счёт отечественного производства. Импорт оптического стекла закрыт с 1925 г. Все нужды нашей артиллерии, авиации, морского военного флота в оптических приборах разного наименования — биноклях, оптических прицелах, панорамах, стереотрубах, дальномерах, перископах, аэрофотокамерах и аэрофотообъективах — удовлетворяются изделиями наших заводов. Они сделаны советскими инженерами и рабочими, рассчитаны советскими учёными, спроектированы советскими конструкторами, сделаны из советского материала на советских заводах.

Наша промышленность сумела справиться и с главнейшими задачами в области гражданской продукции. Перед войной она насытила рынок кинопроекторной аппаратурой — сначала немой, и потом и озвученной. Были созданы свои приборы также и для звукозаписи. Потребитель имел некоторый выбор и для приобре-

тения фотоаппаратов: «Фотокор», «ФЭД», «Спорт» и некоторые другие.

Были созданы крупные заводы киноплёнки. Выпускаемые ими материалы стоят на уровне заграничных по своей чувствительности и разрешающей способности. Сенсибилизация их также не хуже заграничных образцов. Вместо кустарных заводов пищевой желатины, пытавшихся изготовлять также фотожелатину, возник грандиозный и замечательный по оборудованию специализированный завод фотожелатины.

Потребности рынка удовлетворялись также в отношении продукции источников света: ламповая промышленность хорошо справилась с фабрикацией пустотных ламп и безболезненно перешла, одновременно с границей, к лампам газонаполненным.

Эти успехи не могли быть достигнуты без значительной научно-исследовательской работы. Необходимо сказать о разных направлениях, по которым шла эта работа.

#### а) Оптическое стекло

Этот первейший и необходимейший материал для всякого оптического прибора ставит перед производством ряд серьёзных и интересных задач. Стекло должно быть прозрачным, бесцветным, без посторонних включений («камней»), без крупных газовых пузырьков и без мелкой «мошки» того же происхождения. Оно должно быть равномерным по своим оптическим свойствам по всей своей массе — без «свилей» и более грубых неоднородностей. Оптические свойства (показатель преломления и дисперсия) должны в очень жёстких пределах иметь заранее определённую величину. Стекло должно выдерживать без кристаллизации дальнейшую тепловую обработку, а после таковой сохранять свои оптические свойства неизменными. Его поверхность должна быть химически устойчива, не должна с течением времени покрываться пятнами и налётами.

Задачи, выдвигаемые производством такого материала, в своей значительной части являются чисто химическими. Сюда относятся вопросы о составе стёкол о равновесиях в тех сложных системах, которыми являются эти стёкла и т. п. Но возникает также ряд физических задач. Для получения равномерной массы необходимо перемешивание стекла во время его изготовления, а потому и режим варки должен быть таков, чтобы позволять такое перемешивание. Является задача о зависимости вязкости от температуры, о широте того температурного интервала, который возможен без кристаллизации («зарухания») стекла. Далее оказывается, что то самое перемешивание, которое необходимо для придания массе однородности, в свою очередь является новой причиной возникновения в стекле свилей — за счёт растворения в горячей стеклянной массе вещества горшка. Целый ряд работ производителей и лабораторных исследователей посвящён поэтому вопросам мешки. С успехами последней связывает

ся ускорение производства, повышение коэффициента выхода годного оптического стекла и преобразование самого процесса варки.

Целый ряд контрольных методов и приборов должен быть создан для точного наблюдения за процессом варки: прибор для экспрессного определения показателя преломления стекла («метод Обреимова»), приборы для просматривания образцов на свили, а также многие другие. Далее возникает вопрос об отжиге готового стекла, чтобы уничтожить образующиеся при быстром охлаждении внутренние напряжения, с которыми связаны явления анизотропии. Этим вопросам посвящена основополагающая работа А. А. Лебедева, который на основании её пришёл к представлению о внутренних преобразованиях, которые испытывает при температуре отжига кварц, входящий в состав стекла. Работа А. А. Лебедева и А. И. Стожарова даёт также практические указания о необходимом для отжига температурном режиме.

Изучение свойств поверхности стекла также даёт повод к чисто физическим работам, так как изучение незаметных невооружённому глазу плёнок на этой поверхности ведётся физическими — точнее оптическими — методами, основанными на применении теории Друде, которая предсказывает оптические явления (эллиптическую поляризацию), имеющие место при образовании таких плёнок. Работы велись в лаборатории И. В. Гребенщикова. Оказывается, что такие плёнки могут быть и полезными для некоторых специальных применений: если, например, повести образование плёнки несколько далее, до большей толщины, то она получает особые адсорбционные свойства, роднящие её с силикагелем. Влага в течение долгого времени как бы поглощается такой плёнкой, не обнаруживаясь на поверхности обычным запотеванием — важное применение для некоторых специальных приборов (работы Ю. Л. Куртца, О. С. Молчановой и др.).

Вопросы о влиянии тепловой обработки стекла на его оптические свойства, а также о последующих медленных изменениях оптических свойств стекла были предметом тщательных и долголетних исследований В. А. Флоринской, Г. О. Багдыкянца и др.

Рентгенологическое исследование стекла было предметом работ Н. Н. Валенкова, Е. А. Порай-Кошица в лаборатории А. А. Лебедева.

В последнее время практическая оптика поставила перед исследователями новый вопрос — об уменьшении коэффициента отражения света от стекла. Решение возможно в виде нанесения на поверхность стекла тонкой плёнки, которая, создавая условия для интерференции лучей, отражённых на её передней и задней поверхностях, может значительно ослабить отражённый луч при надлежащем выборе толщины и показателя преломления вещества плёнки. Решение у нас предложено И. В. Гребенщиковым ранее, чем за границей. Практическое осуществление такого «просветления» оптики ведётся или путём химического осаждения, либо в вакууме напылением вещества плёнки.

Затем ещё приходится думать об упрочнении образованной плёнки, что также возможно путём либо химических, либо физических операций.

Наше изложение весьма неполно и ограничивается лишь важнейшими случаями удачного вмешательства учёного в производство того сложного и деликатного продукта, каким является оптическое стекло. Уместно сказать, что решён также вопрос о производстве искусственных кристаллов для тех случаев, когда свойства стекла исключают его применение (например, в ультрафиолетовой области). Этот вопрос ставился в лабораторных масштабах М. В. Савостьяновой, А. С. Топорцом и Кублицким. На одном из заводов оптического стекла он разрешён в производственных масштабах (весьма крупные кристаллы хлористого калия и некоторых других веществ).

По вопросу об окрашенности стекла надлежит прежде всего указать работу Л. И. Дёмкиной, которая установила методами абсорбционного анализа, что часто появлявшаяся в советском стекле окрашенность объясняется наличием хрома. Позже работа по окрашенности стёкол и по цветным стёклам велась в производственном аспекте ею же и В. В. Варгинным, который ставил её в очень широких размерах. Можно считать решённым вопрос об оптическом окрашенном стекле для аэросъёмочных и других светофильтров, а также о стекле сигнальном, декоративном, теплозащитном (в проекционных установках и др.).

#### б) Оплотехника

Мы понимаем под этим термином обширную область работ по изучению и обмеру оптических систем и приборов, по контролю их оптических свойств, по методам их сборки и т. п. Сюда относится изучение фокусных расстояний, величины и расположения зрачков, разрешающей силы, а также многочисленных аберраций. Изучение готовых образцов часто предшествует проектированию и расчёту новых приборов, чтобы составить себе глазомерное представление о том, к чему, к какому компромиссному пределу следует стремиться при осуществлении того или иного задания. С другой стороны, всякий вновь изготовленный прибор изучается с точки зрения его соответствия заданию или той цели, для которой он строится, — работа расчётчика, конструктора и оплотехника идут таким образом рядом, взаимно поверяя и дополняя друг друга. Ряд оплотехнических установок — необходимая принадлежность лабораторий заводов, изготовляющих оптические приборы; оплотехник — суперарбитр по вопросам применяемых сортов стекла, качеству изготовления и сборки. Он же — составитель технических условий на приборы, инструкций для пользования ими и т. д.

В начале описываемого периода роль оплотехнических лабораторий сводилась к освоению чужеземных методов испытания и контроля. Следует признать эту сторону дела весьма важной, поскольку она

соответствует внедрению на заводы той степени культуры, без которой невозможно такое тонкое производство, каким является оптико-механическая промышленность. Однако настоящая творческая работа начинается тогда и только тогда, когда мы преодолеваем рутинное пользование чужими приборами и методами и переходим к созданию своих методов и контрольных приборов. Назовём здесь только главные из осуществлённых в Союзе новинок.

В 1928 г. перед оптико-механической промышленностью стал вопрос о постройке больших прожекторных установок. Понадобился метод для измерения aberrации в разных зонах прожекторного зеркала. Такой метод создан В. П. Линником; он представляет собой в некотором роде обращение существующего метода Цейсса. Станки для шлифовки прожекторных зеркал построены В. Н. Дыньковым.

В той же опtotехнической лаборатории ГОИ К. В. Бутков изучал известное видоизменение интерферометра Майкельсона — прибор Тваймана — для наблюдения оптических отступлений от идеальной формы в данной системе (например фотообъективе). Он дал способы сопоставления наблюдаемой интерференционной картины с необходимыми по другим методам aberrациями.

В. П. Линник, придавши прибору Тваймана уменьшенные во много раз размеры, с успехом применил его к изучению микроскопических объективов.

Им же построен прибор для визуального наблюдения кривых, характеризующих aberrации оптических систем, вместо кропотливого измерения их по точкам на так называемой скамье Гартмана.

Д. Д. Максutowым построены приборы для контроля точных поверхностей астрономических объективов больших размеров. Он при этом превратил известный теневой метод Фуко в точный измерительный метод.

Б. М. Корякиным построен универсальный прибор для испытания телескопических систем и для измерения всех возможных его aberrаций.

В. П. Линником разработан замечательный прибор, состоящий из двух стоящих под прямым углом друг к другу микроскопов для изучения микростроения полированных поверхностей; он перед войной выпускался фирмой Цейсс (без особого дозволения автора).

Из случаев вмешательства опtotехников в самое производство упомянем работу опять-таки В. П. Линника, создавшего метод сборки микроскопических объективов, совершенно не требующий участия квалифицированного оптика. Метод оказался чрезвычайно плодотворным при первоначальном освоении производства микроскопов нашей промышленностью.

Наконец, упомянем целый ряд совершенно новых интерферометрических установок, созданных В. П. Линником для проверки шлифованных поверхностей, внутренних каналов в крупных деталях машиностроительной промышленности, в стволах оружия и т. д.

Сказанного будет достаточно, чтобы характеризовать уровень проделанной работы; не мудрено, что в результате этой работы, а также громадных творческих усилий нашей промышленности, создано первоклассное оптическое оснащение наших артиллерийских, авиационных, инженерных и др. оборонных объектов. Мы подготовлены и к выпуску гражданской продукции — от микроскопов с ахроматическими и апохроматическими объективами до огромных астрономических объективов; совокупные работы заводов оптического стекла и ГОИ (Д. Д. Максutow) ручаются и за последнюю задачу: мы умеем получать громадные диски стекла и построили мощные агрегаты для их шлифовки и полировки.

### в) Вычислительное дело

Его, как было указано выше, пришлось начать на совершенно пустом месте. Соответствующая ячейка была создана при КЕПС\*) в 1916 г., а при основании Государственного Оптического института передана ему; возглавлял «Вычислительное бюро» А. И. Тудоровский, наиболее ранними сотрудниками его были Е. Г. Яхонтов и Г. Г. Слюсарев. Независимо от этого вычислением оптических систем занималось Бюро на ГОМЗ в ранние его годы; в числе его выучеников нужно назвать М. М. Русинова и В. Н. Чуриловского.

В начале деятельность вычислителей ГОИ носила подражательный характер и заключалась преимущественно в копировании заграничных образцов. Не нужно думать, что и эта работа не требовала известных практических приёмов и навыков, подобно тому как любое инженерное сооружение, даже и не претендующее на создание нового типа конструкции, всё же требует большого количества расчётов, совершаемых по вырабатываемым заранее схемам. К тому же совершенно точное повторение какой угодно оптической системы и невозможно, поскольку для изготовления копии не оказывается в наличии сортов оптического стекла с тождественными с образцом постоянными, и здесь неминуемы известные пересчёты.

В начале советские вычислители рассчитывали лишь простейшие телескопические системы — бинокли, стереотрубы и тому подобные приборы специального назначения. На следующую очередь были поставлены фотографические системы и, наконец, системы микроскопические. Быстрое развитие возможностей вычислительного дела характеризуется следующими данными: в 1918 г. ни одного фотографического объектива, изготовленного внутри страны; в 1930 г. первый советский фотоаппарат выпускается с объективом весьма среднего качества («Ортагоз»). В настоящее время первоклассными объективами удовлетворяются все потребности нашей Родины, все они рассчитаны советскими вычислителями и в известной мере самобытны.

---

\*) Комиссия по изучению естественных производительных сил страны.

Особо следует назвать «Руссар» М. М. Русинова — оригинальной конструкции широкоугольный объектив; серию «Уранов» Д. С. Волосова — семилинзовый анастигмат с менисковым исправлением аберрации этого типа; «Телемар» — оригинальный телеобъектив; целый ряд «Индустаров» для оборонных и гражданских приборов и т. д. По созданию методов расчёта фотообъективов большая работа проделана Г. Г. Слюсаревым.

Чрезвычайно интересную новую конструкцию астрономического прибора предложил Д. Д. Максutow. Эта система — катадиоптрическая, зеркально-менисковая; мениск исправляет те аберрации, которые получаются при зеркальном отражении; оптическая сила мениска весьма мала, почему он не вводит в систему заметного хроматизма. Можно ожидать для этой системы большого будущего.

Микроскопические системы рассчитаны под руководством Е. Г. Яхонтова. Здесь основная трудность заключалась в чрезвычайно большом значении «лучевых» аберраций. По мысли Е. Г. Яхонтова, при расчётах решено было перейти к рассмотрению волновых аберраций. Как уже было указано выше, промышленностью начато было освоение производства микроскопов.

Упомянем ещё об оптике для аппаратуры звукозаписывающей и для воспроизведения звука. Она также рассчитана и построена в Союзе.

## 5. СВЕТОТЕХНИКА И ФОТОМЕТРИЯ

До революции, как ни странно, в России не существовало твёрдо установленных световых эталонов. С. О. Майзель положил этому начало в ГОИ, откуда дело потом было передано в Главную палату мер и весов (ныне ВНИИМС). Ряд работ по созданию эталона, более связанного с абсолютно чёрным телом, был проведён А. А. Добининым и др. Большое значение имеют труды А. А. Гершуна по естественному освещению, поставившие на новую почву экономический подход к решению связанных с естественным освещением вопросов.

Однако наиболее серьёзным вкладом в научную светотехнику необходимо признать данную А. А. Гершуном теорию светового поля. К сожалению, она слишком сложна для элементарного изложения. Встреченная вначале даже враждебно, — между прочим таким авторитетом, как покойный Блондель (впрочем, впоследствии раскаявшийся в своей основанной на недоразумении критике), — она понемногу завоевала себе признание. А теперь видный американский специалист Перри Мун высказывает в своей книге мнение, что светотехника до последнего времени жила представлениями времён Бугера и только в наши дни в ней наметилась свежая современная струя, имея при этом в виду именно теорию А. А. Гершуна.

Весьма интересная работа по освещению тёмных цехов кинофабрик проведена А. А. Гершуном, Д. Н. Лазаревым и К. А. Вентманом. При этом в основу положен принцип: максимум действия на

глаз при минимуме действия на фотоматериал. Вопрос разрешается путем точного учёта спектральной чувствительности материала и подбором соответствующих светофильтров. Цвет освещения неожиданно зеленоватый.

Подобный же принцип составляет основание ряда работ оборонного значения по маскировочному освещению, цветомаскировке, дешифровке замаскированных объектов (М. М. Гуревич, Е. К. Пуцёйко, А. А. Гершун, А. А. Вольткенштейн и др.).

## 6. ФОТОГРАФИЯ И ФОТОКИНОПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Значение фото и кино было оценено с первых шагов советской власти, и научным исследованием в этих областях был занят целый ряд лабораторий и институтов. Главными являются: Институт им. Карпова, где в течение долгого времени фотографическую тематику возглавлял покойный А. И. Рабинович; НИКФИ, где долголетним руководителем был К. В. Чибисов; Лаборатория научной фотографии ГОИ (Т. П. Кравец, а затем Г. П. Фаерман); затем ЦНИИГАИК, Харьковский институт прикладной химии (А. И. Кирпианов) и некоторые другие. По отдельным темам работа распределялась так:

а) Вопросами скрытого изображения занималась М. В. Савостьянова; она рассматривала образование этого изображения как явление окрашивания кристаллов. Эту точку зрения одновременно выдвинули Р. Поль (Гёттинген) и Т. П. Кравец. Но у нас удалось сразу же избежать ошибки германской школы, которая сначала считала скрытое изображение атомарным окрашиванием. М. В. Савостьянова обнаружила появление под действием света мельчайших кристалликов металлического серебра (коллоидальное серебро в решётке бромистого серебра). Под влиянием длинноволновой радиации кристаллики рассыпаются, можно сказать, на глазах (эффект Гершеля). Замечательные работы С. В. Чердынцева объяснили более сложные явления, которые наблюдаются, когда рассасывающий свет является поляризованным (явление Вейгерта). Ю. Н. Гороховский изучал энергетические соотношения при эффекте Гершеля. Е. А. Кириллов (Одесса) изучал явления фототока при освещении бромистого серебра. П. С. Тартаковский дал схему энергетических уровней кристаллов, которая объяснила наблюдаемые явления. А. С. Топорец искал атомарное серебро при окрашивании кристаллов и нашёл его в случае подмеси галоидного серебра к чужому кристаллу (например хлористому калию).

б) По вопросам проявления в СССР созданы две теории — А. И. Рабиновичем «адсорбционная» и Г. П. Фаерманом — электрохимически-термодинамическая. Последним установлено (работы Н. Н. Шишкиной), определяющее значение концентрации водородных ионов на ход проявления (так называемый закон Фаермана-Рейндерса). К. В. Чибисов, А. И. Кан-Коган, А. И. Рабинович занимались изучением

микрокартины процесса проявления; С. Г. Богданов — потенциалом проявляющей части проявительной системы и т. д.

в) Вопросам синтеза эмульсии посвящён фундаментальный ряд работ К. В. Чибисова; К. С. Ляликов с сотрудниками исследовал эмульсии с точки зрения распределения зёрен по величинам при их созревании; теоретическая часть работы была сделана С. В. Чердынцевым.

г) Сохранность эмульсии была предметом исследований Ю. Н. Гороховского и И. Р. Протас.

д) Сенситометрией занимался в особенности ГОИ, где была подготовлена для внедрения новая стандартная сенситометрическая аппаратура; по общей сенситометрии — И. А. Черным; по спектральной сенситометрии — Ю. Н. Гороховским; по резольвометрии — Ф. Л. Бурмистровым; по стандартному проявлению — В. А. Вейденбахом. Ю. Н. Гороховским проведен целый ряд работ по спектральным свойствам фотослоёв и издан атлас кривых спектральной чувствительности.

е) Фотожелатина была предметом исследований А. В. Бекунова (НИКФИ) и Г. П. Фаермана (ГОИ); несмотря на многочисленные работы, посвящённые как теоретическим, так и производственным задачам, этот вопрос в Советском Союзе ещё не разрешён в той мере, как это было бы желательным.

## 7. ОРГАНИЗАЦИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В последних разделах мы имели примеры особенно ясно выраженного взаимодействия научного исследования и технических применений. Это — стиль работы, и советские оптики могут с гордостью констатировать, как велик их вклад в дело обслуживания промышленности. Здесь уместно указать и те организационные формы, которые приняло это обслуживание.

В декабре 1918 г. Д. С. Рождественским был основан Государственный Оптический институт. Институт с первых шагов связался с промышленностью, сделав в первые годы своего существования своей главной задачей решение вопроса об оптическом стекле, а затем — расчёт оптических систем и изучение оптических приборов. Одновременно в нём же велись глубокие научные работы самого Д. С. Рождественского, росли его ученики — Фриш, Фок, Теренин, Гросс, Чулановский. Д. С. Рождественский твёрдо держался взгляда, который он развивал на мартовской сессии Академии Наук в 1935 г. Главной целью института должно быть обслуживание какой-либо отрасли промышленности или нескольких близких отраслей; но промышленность, для которой он работает, должна давать ему возможность производить и работы теоретического значения в той области науки, которая соприкасается с соответствующим производством; не производство должно быть при науке, а наука при производстве. Мысль Д. С. Рождественского не всем представлялась правильной; сам он охотно допускал, что между промышленностью, главенствующей

щей юридически, и наукой, призванной фактически руководить этой промышленностью, не сразу установятся нормальные отношения; но он верил, что уже недалёкое будущее принесёт и взаимное понимание сторон и гармоническое сочетание в работе института части научной и части прикладной.

Необходимо с удовлетворением отметить, что оптика в СССР вовсе не ограничена рамками Оптического института: значительный вклад в неё составляют работы Ленинградского университета, Московского университета, Физического института АН СССР; упомянутый Научно-исследовательский институт кино-фото, Ленинградский институт точной механики и оптики, Ленинградский институт киноинженеров, Всесоюзный электротехнический институт и многие другие учреждения также принимают значительное участие в этой работе, каждый — в пределах своей специальной задачи.

#### 8. РАБОТА ПО АНОМАЛЬНОЙ ДИСПЕРСИИ ПАРОВ МЕТАЛЛОВ

Переходим к другим циклам работ по оптике, не столь тесно связанным с нуждами производства, хотя и давшим для последнего в отдельных случаях весьма важный материал. Здесь мы поставим на первое место работы Д. С. Рождественского и его школы по аномальной дисперсии паров металлов. Они начались с классической дореволюционной работы самого Д. С. Рождественского по аномальной дисперсии паров натрия и были главной основой, на которой мастер прецизионной оптической работы воспитал многих из своих учеников. В эпоху, когда работа была задумана, автор стоял, разумеется, на классических представлениях об электроне — инертном и связанном с атомами квазиупругими силами. Как известно, только эти два предположения об электроне нужны для вывода формулы Зельмейера, и её проверку Д. С. Рождественский считал проверкой самых основ классической электронной оптики. Он создал свой знаменитый «метод крюков», который сделал возможным быстрое измерение интерферограмм и учёт параметров формулы Зельмейера. Его результат таков: формула Зельмейера отступает от данных опыта у самой линии поглощения не более чем на 2%. Впоследствии, того же порядка отступления получались и у учеников Д. С. Рождественского — В. К. Прокофьева и А. Н. Филиппова, труды которых создали для лаборатории Рождественского славу наилучшего во всём мире центра, где исследовались эти явления. А. Н. Филиппов построил, по мысли Д. С. Рождественского, первый в мире флюоритовый интерферометр и распространил изучение явлений аномальной дисперсии на ультрафиолетовую область спектра. Наконец, Г. С. Кватеру удалось показать, что отступления, о которых говорилось выше, вряд ли имеют реальное существование: они создаются не вполне правильным применением «метода крюков», а при осторожном пользовании последним сводятся к гораздо меньшим величинам.

К своей первой теме Д. С. Рождественский вернулся в последний год своей жизни. В работе, сделанной совместно с Н. П. Пенкиным, он с необыкновенной виртуозностью показал, какие возможности ещё таит в себе его задача и его метод её решения. Он воспользовался печью Кинга и распространил изучение на тугоплавкие металлы; он сопоставил результаты уже не с классической теорией, а с современными представлениями. В частности, была проверена приложимость формулы Больцмана к интенсивности отдельных линий (она найдена в ряде случаев неприменимой), даны способы определения, по методу крюков, интенсивности линий при более сложном строении их, чем дублетное, дана оценка метода аномальной дисперсии как способа определения интенсивности линий. Он квалифицируется как самый точный из всех существующих, хотя и не самый чувствительный из них. При последующих применениях к задачам количественного спектрального анализа метод аномальной дисперсии ещё скажет своё слово. С современной точки зрения формулы аномальной дисперсии выводятся из других предположений, и её константы уже не связываются столь же непосредственно с числом дисперсионных центров, с зарядом и массой электрона. В формулы входят статистические веса известных состояний, вероятности переходов; вместо величины «затухания колебаний» приходится говорить о длительности пребывания электрона в возбуждённом состоянии и т. п. Две ранние работы М. Л. Вейнгерова (лаборатория А. А. Лебедева) подходят к вопросу с этой точки зрения и пользуются ещё величиной поглощения в парах и производимым ими магнитным вращением плоскости поляризации (по Вуду).

## 9. РАБОТЫ ПО АТОМНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Работы по атомной спектроскопии производились в большом количестве и с большим успехом, в особенности в начальные годы. Об основополагающих работах Д. С. Рождественского в этой области мы говорили выше. В прямой связи с ними возникли многочисленные работы его учеников. Здесь следует назвать прежде всего работы С. Э. Фриша, начавшиеся с 1926 г. и продолжавшиеся до последних дней; им исследовались: искровой спектр натрия, неона; магнитный момент натрия; сверхтонкое строение спектральных линий; моменты ядер в связи со строением последних; анализ сложных спектров; ядерные моменты калия, ртути, натрия. Подобный же характер имеют работы его учеников, в особенности интересная диссертация В. И. Черняева. На первых порах своей деятельности этими же вопросами занимались А. Н. Теренин и Е. Ф. Гросс (сложное строение спектральных линий возбуждённых паров ртути), а также А. Н. Филиппов (совместно с Е. Ф. Гроссом — тонкая структура в искровом спектре цезия) и В. М. Чулановский (влияние электрического поля на серийный спектр гелия); оживлённый интерес к спектроскопии

ческим темам вызвал также целый ряд теоретических работ В. А. Фока. Им был выработан способ (он называет его обобщённым способом Хартри; за границей он известен как «метод Хартри-Фока») для «расчёта» атома — например атома натрия — по эмпирическим данным о собственных периодах и отношениях интенсивностей линий. Но с течением времени отмечается несомненное ослабление работы в этой области как в экспериментальной, так и в теоретической её части; большинство её работников изменяют ей для другой тематики: Е. Ф. Гросс — для вопросов рассеяния света, А. Н. Филиппов — для аномальной дисперсии и для спектрального анализа, В. М. Чулановский — для молекулярной спектроскопии. Причину этого явления приходится видеть в том, что тема себя до некоторой степени исчерпала, по крайней мере в принципиальном отношении. В работах С. Э. Фриша к концу периода замечается новый уклон — исследование условий возбуждения отдельных линий применительно к вопросам газосветного освещения; в таком же направлении работает В. А. Фабрикант.

Некоторая новая струя вливается в работу по атомной спектроскопии, когда, по мысли Д. С. Рождественского, основывается «Комиссия по редким землям» специально для исследования спектров последних, что было почти незатронутым вопросом. В этой области успели до войны достигнуть известных успехов А. Н. Филиппов, А. Н. Зайдель и Я. И. Ларионов. К сожалению, трое из названных здесь четырёх лиц уже нет в живых и только А. Н. Зайдель может продолжать свою работу.

## 10. МОЛЕКУЛЯРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

По молекулярной спектроскопии должно отметить прежде всего работу В. М. Чулановского, который осуществил замечательную вакуумную спектральную установку для исследования молекулярных спектров в далёком ультрафиолете; здесь были тщательно разработаны и источник света (конденсированная искра), и спектральный аппарат большой разрешающей силы, и фотографическая методика. Всё вместе позволило разрешить несколько по-новому вопрос о строении спектров даже таких, казалось бы, хорошо известных газов, как азот, окись углерода и т. д. Из последующих работ назовём теоретические исследования М. А. Ельяшевича и Б. И. Степанова о вращательных частотах сложных молекул и М. В. Волькенштейна — о вычислении интенсивности полос инфракрасных и рамановских спектров. Таким образом, исследования советских учёных охватывают все области молекулярных спектров — от далёкой ультрафиолетовой до инфракрасной его частей.

По всей этой области большая работа проделана и для улучшения методики наблюдения, для постройки приборов. Об установке В. М. Чулановского сказано выше. Замечательна установка (С. Э. Фриша) дифракционной решётки на огромной, тяжёлой железобетонной

ферме, покоящейся на упругих подставках, в помещении с постоянной температурой. Интересна попытка Л. Б. Понизовского найти в ближней инфракрасной области линии, более подходящие по простоте своей структуры для цели сравнения метра с длиной их волны. К сожалению, не доведена до конца работа, начатая Д. С. Рождественским с сотрудниками (Г. И. Покровским и А. И. Салищевым), имевшая целью установить новые нормы для быстрого определения длин волн (линии иода вместо роулендовских линий железа). Для инфракрасной области М. Л. Вейнгером разработан нового типа приёмник — оптико-акустический: модулированное инфракрасное излучение попадает на исследуемый газ в специальной камере; если радиация поглощается газом, последний приходит в звуковые колебания, которые либо воспринимаются на слух, либо преобразуются с помощью микрофона в измеряемый гальванометрически ток. Прибор с успехом применяется для целей быстрого газового анализа и контроля таких установок, как рекуперационные и т. п. Весьма обещающим является применение прибора и для чисто научных целей.

Наряду с теоретической работой по спектроскопии шла работа по приспособлению её результатов для практических целей, мы имеем в виду разработку вопросов и внедрение спектрального анализа. Только в последние годы его методы становятся достоянием заводских лабораторий и завоевывают в последних обширное поле применений. Работа начата была в Оптическом институте А. Н. Фидлиным и продолжается там же В. К. Прокофьевым. Другой важный центр работы в том же направлении образовался сначала в МГУ (лаборатория Г. С. Ландсберга), а затем в Физическом институте Академии Наук (он же, а также С. Л. Мандельштам).

## 11. ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА В ТВЁРДЫХ ТЕЛАХ И ЖИДКОСТЯХ

Как известно, в твёрдых телах и жидкостях условия для оптических явлений значительно сложнее, чем в газах. Отсутствие руководящей теории часто затрудняет попытки разобраться в этих явлениях. Мы можем назвать только отдельные группы работ в указанной области. Первая принадлежит н. В. Буткову. Он исследовал спектры поглощения солей в растворах и с успехом сопоставил полученные результаты с данными, имеющимися по исследованию атомов тех же солей в других состояниях. Вторая группа работ связана с именем И. В. Обренмова. Он изучал оптические свойства кристаллов при весьма низких температурах. Весьма важные и интересные явления, которые ему удалось при этом наблюдать, могут впоследствии приобрести и практическое значение; при низких температурах широкие полосы поглощения кристаллов суживаются, и кристалл в спектральной области между отдельными полосами становится прозрачен; это обстоятельство открывает в будущем возможность спектральных

исследований в очень далёком ультрафиолете, если только трудности техники экстремно-низких температур будут преодолены оптиками-конструкторами \*).

М. В. Савостьянова произвела ряд обширных исследований над коллоидальными растворами. Исходя из теории Ми, она могла количественно предсказать цвет и поглощение в таких системах, как окрашенная каменная соль, стёкла с содержанием меди и золота, бромистое серебро, в котором фотохимически выделено металлическое серебро, и т. п. С такой же точки зрения А. Т. Ащеулов исследовал тонкие металлические слои. Вопрос приобретает практическую важность, поскольку оптико-механическая промышленность начинает всё более применять «толстые» и полупрозрачные слои металлов для своих конструкций.

Последняя группа охватывает также вопросы поглощения в твёрдых и жидких телах, но исключительно с точки зрения его практического приложения для светофильтров. Здесь мы имеем обширные работы К. А. Вентмана, установившего множество рецептов для фильтров разнообразнейшего назначения: для освещения тёмных цехов кинофабрик (об этом мы говорили выше), для освещения фотокмнат, для выделения отдельных спектральных линий и т. п. Вопросы применения светофильтров интересно разобраны в книге В. А. Фааса «Светофильтры».

Может быть, именно здесь, по поводу поглощения света в твёрдых и жидких телах, будет уместно сказать об одном замечательном советском изобретении, основывающемся на поглощении (или, в другом варианте, отражении) тел в ультрафиолете. Как известно, именно в ближней ультрафиолетовой области огромное количество органических тел, прозрачных в видимой части спектра, имеет характерные полосы поглощения; последние располагаются в различных участках длин волн. Биологические препараты, сфотографированные лучами из этих отдельных спектральных зон, будут на одних снимках давать тёмные, на других — светлые изображения одного и того же участка препарата, смотря по химическому составу именно этого участка. Можно рассматривать эти изображения через различные светофильтры, присваивая тем самым каждой спектральной зоне ультрафиолета свой условный цвет — например, лучам длины волны  $2500 \text{ \AA}$  — фиолетовый, длины волны  $3000 \text{ \AA}$  — зелёный,  $4000 \text{ \AA}$  — красный. Способами, обычными в трёхцветной фотографии, налагают друг на друга такие три снимка; тогда получается изображение, ярко окрашенное в условные цвета, и с помощью этих цветов превосходно отделяются друг от друга на препарате участки разного химического строения: хитин, липиды, клетчатка и др. Е. М. Брумбергом (ГОИ) сконст-

\*) Эта мысль была высказана в личном разговоре Д. С. Рождественским.

руирован «трёхцветный» ультрафиолетовый микроскоп, введение которого равносильно новой эпохе в наблюдательной микроскопии в приложении последней к биологии, минералогии и петрографии, металлографии и т. д.

## 12. РАССЕЯНИЕ СВЕТА

Рассеяние света изучалось по нескольким линиям и в нескольких центрах. С одной стороны, это было продолжением основоположной работы Л. И. Мандельштама и Г. С. Ландсберга. Работа велась отчасти в лаборатории МГУ, отчасти в Государственном Оптическом институте. Так, Е. Ф. Гроссом и М. Ф. Романовой было обнаружено наличие «комбинационных» смещений рассеиваемой частоты в плавленном кварце, в стёклах, содержащих кварц. В. А. Фабрикант смог вычислить планковскую константу, измеряя отношение интенсивностей смещённых линий. О работе М. В. Волькенштейна мы говорили выше.

С другой стороны энергично разрабатывались вопросы, связанные с «классическими» случаями рассеяния. Так, Л. И. Мандельштам с Г. С. Ландсбергом и М. А. Леонтовичем (а также Бриллюен во Франции) предсказали изменение длины рассеиваемой кристаллом волны, исходя из представления, что внутри кристалла распространяются упругие тепловые волны, образующие места сгущений и разрежений. От них должны происходить отражения световых волн, которые испытывают при этом доплеровское смещение. Это явление действительно было обнаружено Е. Ф. Гроссом. Он же вместе с Вуксом исследовал соответственное явление в жидкостях, к которым дебаевское представление о тепловых волнах прямого отношения собственно не имеет. Явление было, с некоторыми изменениями, обнаружено и в них. Результаты опытов послужили поводом для полемики с некоторыми иностранными учёными, приехавшими к другим заключениям. Poleмика закончилась успехом для советских исследователей.

Другие интереснейшие явления рассеяния света наблюдаются, согласно предсказанию теории, в парах вблизи полос их собственного поглощения (Л. И. Мандельштам и Г. С. Ландсберг). Явление объясняется «классически» на основании дисимметрии кривой аномальной дисперсии у полосы поглощения; на нём когда-то Юлиус основывал свою теорию резкого видимого края газообразного шара (солнца).

Наконец, имела продолжение и дореволюционная работа Л. И. Мандельштама о рассеянии света флюктуирующей поверхностью раздела двух жидкостей (в особенности вблизи «критической» точки их взаимной растворимости). Явление получило полную теорию, которая была подвергнута экспериментальной проверке (работы А. А. Андропова, М. А. Леонтовича и Ф. С. Барышанской).

В сущности, явления рассеяния света характерны не столько для самого света, сколько для среды, в которой они разыгрываются, и для тех процессов, которые их обуславливают. Таким образом, они оказываются прекрасным индикатором таких явлений, как распространяющиеся внутри вещества упруго-тепловые волны, другие тепловые движения, ультразвуковые возмущения и т. д. В целом ряде работ советских учёных метод рассеяния света использовался для изучения этих внутренних процессов, создания их теории и практического применения их (Л. И. Мандельштам, Н. Д. Папалекси, Г. С. Ландсберг, М. А. Леонтович, П. А. Бажулин, В. Шимановский, Л. А. Турмерман и др.).

### 13. ФОТОЭФФЕКТ

Когда лучи не слишком большой длины волны падают на поглощающее тело, они могут быть причиной значительных смещений присутствующих в молекулах тел электронов. Эти смещения могут быть весьма различны: электрон может выбрасываться за поверхность тела (внешний фотоэффект); он может вырываться из молекулы, но оставаться внутри тела (фотоионизация, внутренний фотоэффект); он может переходить, оставаясь внутри молекулы, на более высокий энергетический уровень («возбуждение»). При этом могут происходить разные вторичные явления: выброшенный из молекулы электрон может способствовать осуществлению связи оставшегося положительного иона с новым отрицательным (фотохимическая реакция); переходя обратно на прежний энергетический уровень, он может дать начало разнообразным явлениям люминесценции. Последние мы рассмотрим отдельно.

Из исследований, посвящённых внешнему фотоэффекту, справедливо будет выделить работу П. И. Лукирского и С. С. Прилежаева. Она предпринята для решения фундаментальной задачи — строгой проверки формулы Эйнштейна — и достигает своей цели с замечательным успехом. Авторы устранили многие ошибки, связанные с влиянием краёв конденсатора, тем, что вели наблюдения в шаровом конденсаторе, работа вообще является классической по изяществу своей методики и эксперимента. Авторы с несомненностью устанавливают правильность закона Эйнштейна и определяют на основании своих опытов величину планковской постоянной с точностью, значительно превосходящей единственные до тех пор измерения Милликена.

Из работ над внутренним эффектом первой по времени является работа Н. К. Щолро, сделанная в период революции (лаборатория П. П. Лазарева). Ею можно считать установленным факт фотоионизации красок в растворе. В то время других возможностей при действии света на краситель (например его возбуждение) себе не представляли. В дальнейшем внутренний фотоэффект не раз служил у советских исследователей методом для установления энергетических

уровней в кристаллах. С этой точки зрения работали А. Ф. и А. В. Иоффе, которые установили полное соответствие между поглощённой световой энергией и фототоком в кристалле — факт вполне естественный, но вызывавший разные недоразумения из-за неправильного учёта поглощённой энергии. Подобные же мнимые отступления при толстых слоях поглощающего кристалла наблюдаются вследствие того, что неправильно считать поглощение энергии равномерным во всей его толще — это разъяснено теми же авторами. Наконец, не вполне выясненными вопросами о возникновении фотопроводимости при образовании и при разрушении атомарного окрашивания занимался П. С. Тартаковский с сотрудниками. Для разъяснения картины образования скрытого изображения исследовал явления фотопроводимости в галонидном серебре Е. А. Кириллов с учениками.

Как известно, фотоэффект послужил основой для многочисленных практических приложений, в виде фотоэлементов различного типа, электронно-оптических преобразователей (трубка Хольста) и т. п. Приёмники такого рода служат для устройства объективных фотометрических приборов — люксметров, денситометров и т. д. В частности, например, селеновый фотоэлемент имеет распределение чувствительности по спектру, довольно близкое к тому, которым обладает человеческий глаз. Светофильтром можно без труда устранить всё же наблюдаемое между ними различие. Эту задачу разрешила в ГОИ, в лаборатории М. М. Гуревича, Е. К. Пуцейко. Там же С. И. Фрейверт разрабатывал технологический процесс изготовления таких фотоэлементов.

Весьма большая работа по устройству фотоэлементов со вторичной эмиссией проделана в ВЭИ П. В. Тимофеевым. Известностью пользуется также «трубка Л. А. Кубецкого». Приборы этого типа, как приёмники энергии, дают в ультрафиолете чувствительность приблизительно на порядок выше всех других.

Делались небезуспешные попытки проникнуть с фотоэлементом и в инфракрасную область.

Перед самой войной Физический институт Украинской Академии Наук выпустил для этой цели весьма совершенный серно-серебряный фотоэлемент.

#### 14. ФОТОХИМИЯ

В ближайшей родственной связи с фотоэффектом стоят, как мы знаем, явления фотохимии. До революции ими начал заниматься, с применением точной физической методики, П. П. Лазарев. Свой опыт в этом деле он передал и своей школе в лице Т. К. Молодого и Э. В. Шпольского.

Последние вначале исследовали фотохимическое действие огромных квантов рентгеновых лучей. Впоследствии в работах Э. В. Шполь-

ского и его сотрудников изучено явление фотохимической сенсibilизации и установлены существенные особенности этого явления, когда оно протекает не в газовой фазе, но в растворах. А. И. Рабинович и Бокинник изучали в подобных же условиях явления сенсibilизации — вопрос чрезвычайно важный для фотографии, но до сих пор удовлетворительно не разрешённый.

С другой точки зрения, а именно с точки зрения состояния в растворе красителя-сенсibilизатора, подходил к вопросу перед самой войной Е. А. Никифоров (лаборатория научной фотографии в ГОИ).

Безусловно более просты и прозрачны условия протекания фотохимических реакций в газовой среде, и наибольшие успехи на первых порах их изучения были одержаны именно здесь. У нас с ними связаны работы А. Н. Теренина, В. Н. Кондратьева и отчасти К. В. Буткова. Мы не будем следить за химической стороной дела; для нас особо интересна физическая методика изучения вопроса.

В газах легко и с огромной — «спектроскопической» — точностью устанавливаются полосы и их «край» и отсюда высчитывается величина кванта, поглощаемого молекулой, и далее — энергия, поступающая в один моль освещаемого вещества. Если далее при образовании новой фазы наблюдается люминесценция, то по её положению в спектре снова с громадной точностью определяется энергия, идущая на это свечение. В результате получается прекрасная количественная информация и о потреблении, и об остаточной энергии, и об энергии, пошедшей собственно на реакцию. Квантовый закон Эйнштейна «один квант на одну реагирующую молекулу» служит здесь постоянной основой для рассуждения и количественного учёта.

Самый характер процессов, промежуточные продукты и кинетика — всё устанавливается соответственными спектроскопическими аргументами.

Работы А. Н. Теренина начались в 1926 г. с изучения реакции фотодиссоциации галогенных солей металлов — иодистого натрия, иодистого серебра и др. — в парообразном состоянии. Они продолжались как им самим, так им же в сотрудничестве с К. В. Бутковым, отдельно К. В. Бутковым и целым рядом учеников и сотрудников А. Н. Теренина: И. М. Франком, Г. Г. Неуйминым, Н. А. Прилежаевой, Б. Поповым, Л. Н. Курбатовым, К. С. Ляликовым. Объекты исследования постепенно усложнялись, задача расширялась; кроме чисто фотохимических целей, исследованию ставились задания проникнуть в глубь вопросов химического строения самых сложных молекул, каковы, например, органические красители. Другой центр подобных работ создан В. Н. Кондратьевым.

На заре фотохимии русский исследователь Гротгус интуитивно формулировал её основной закон. В наше время мы можем с полным

правом претендовать на одно из первых мест в научной фотохимии, где советские учёные создали самостоятельное, новое и прогрессивное направление и продвинули далеко вперёд исследование этой важной области.

## 15. ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ

Область явлений фотолюминесценции — наиболее близкая к разобранному выше, но исследование её началось значительно раньше. Нам уже из учебников известно относящееся сюда «правило Стокса»: длина волны фотолюминесценции всегда больше длины волны возбуждающего её света — всегда, кроме тех случаев, когда фотолюминесценция является «антистоксовской». Закон Эйнштейна даёт этому и объяснение: один квант возбуждающего излучения даёт начало одному кванту фотолюминесценции; лишь сравнительно редко представляется вероятным захват при этом добавочного кванта за счёт теплового движения в люминофоре или других источников энергии.

Для газов классические работы Вуда подготовили применение боровских и послеборовских представлений об энергетических уровнях в атомах и молекулах, с вероятностями переходов между ними, подсчётом таковых с помощью формулы Больцмана и т. д. Но большинство старых, издавна известных явлений флуоресценции и фосфоресценции разыгрывается в жидких и твёрдых средах. Здесь рациональную реконструкцию всего здания надо было производить с самого начала; эту задачу взял на себя С. И. Вавилов, а потом — его школа (лаборатории люминесценции ГОИ и ФИАН).

Прежде всего здесь исследуется величина коэффициента выхода вторичной реакции — не всегда лёгкая задача ввиду трудности измерения возбуждающей коротковолновой энергии. Здесь оказывается действующей неожиданно простая правильность — «закон Вавилова»: коэффициент выхода (если его считать в квантах на квант) по всему спектру одинаков. Эта закономерность приводит к двум выводам. С одной стороны, она ложится в основу метода измерения ультрафиолетовой радиации по яркости возбуждаемого ею видимого свечения; с другой стороны, она намекает на глубокие причины общего характера, одинаково ограничивающие полезный выход вторичного свечения во всех областях возбуждающего спектра. Для окончательного выяснения вопроса понадобилось знание абсолютного значения выхода фотолюминесценции. Он оказался, вообще говоря, очень высоким и в некоторых случаях отличался от единицы всего на десяток-другой процентов. Это — факт огромного практического значения, лежащий в основу устройства люминесцентного освещения; его роль здесь можно уподобить роли законов чёрного излучения в устройстве калильного освещения.

Если выход не равен единице, то какие-то причины ограничивают его величину; школа С. И. Вавилова видит эти причины в «ударах второго рода» между частицами люминофора и частицами жидкости. С этой точки зрения понятно, что это «тушение» не зависит от положения в спектре возбуждающей радиации. Очень интересен более сложный случай «концентрационного» тушения при больших концентрациях самого люминофора, вследствие особых закономерностей, при этом наблюдаемых.

Наконец, особо интересными представляются явления поляризации флуоресценции и открытые здесь зависимости её от длины волны.

Сотрудники С. И. Вавилова (А. А. Шишловский, Б. Я. Свешников, А. Н. Севченко, З. Л. Свердлов, И. А. Хвостиков, П. П. Феофилов в ГОИ; В. Л. Левшин; Л. А. Тумерман в ФИАН и др.) систематически исследовали спектр люминесценции, её выход, тушение и поляризацию. Все данные в совокупности и позволили создать ту стройную картину явлений, которую здесь мы могли только набросать.

Упомянем в заключение большие оборотные применения наших знаний о фотолюминесценции, а также многочисленные практические рецепты, явившиеся результатом её изучения.

## 16. ГЛАЗ И ЗРЕНИЕ

Советские исследователи работали ещё над одной областью оптики — оптикой глазной и очковой. Коррекция зрения — фактор громадного экономического значения, поскольку им достигается повышение работоспособности такого огромного круга лиц и в такой степени для каждого, что общий достигаемый эффект не поддаётся даже приблизительному учёту. Следует отметить большую пропагандистскую работу, проведенную в этом направлении Л. Н. Гассовским (лаборатория физиологической оптики ГОИ).

Глаз изучался в Союзе не только с точки зрения его коррекции, но и во многих других отношениях. Одним из пионеров этого изучения явился П. П. Лазарев, в школе которого, с точки зрения развитой им ионной теории нервного возбуждения, изучались разнообразные вопросы чувствительности глаза, его адаптации и т. д. В дальнейшем наметились различные направления в изучении глаза: по стереоскопическому зрению, по утомлению глаза, по цветовой чувствительности, аномалоскопии и т. п.; по зависимости остроты различения от угловых размеров объекта, его яркости и контраста. Эти работы сосредоточены были в нескольких центрах: в лаборатории Н. Т. Фёдорова и С. В. Кравкова; в ГОИ — в фотометрической лаборатории (Г. Н. Раутиан), в колориметрической лаборатории (Л. И. Дёмкина), в лаборатории физиологической оптики (Л. Н. Гассовский, В. Г. Самсонова, Н. И. Пинегин). Н. И. Пинегину принадлежит прекрасная работа о чувствительности глаза в областях спектра, граничных с видимой.

## 17. АТМОСФЕРНАЯ ОПТИКА И АКТИНОМЕТРИЯ

Нам остаётся коснуться работ по атмосферной оптике и актинометрии. В особенности актинометрии «повезло» уже в дореволюционной России: значительные работы по определению солнечной радиации принадлежат О. Д. Хвольсону; практический актинометр, принятый в международном масштабе, построен В. А. Михельсоном. Обширные работы по записи прямой и рассеянной радиации и других явлений проведены на Павловской обсерватории С. И. Савиновым. Позднее, вплоть до настоящего времени, они велись в ещё более широком масштабе Н. Н. Калитиным.

В последние годы, в связи с нуждами различных ведомств, а в особенности флота и авиации, усиленный интерес вызвал вопрос о «видимости». Попытки более точно определить это понятие и установить способы его практического измерения весьма многочисленны. Прежде обходились для этого так называемым «фильтром видимости» по Виганду; у нас он был построен К. А. Вентманом. Ныне имеется ряд приборов, предложенных для этой цели В. А. Фаасом, Н. Э. Ритынем и др. Среди них назовём «дымкомер» В. В. Шаронова.

Разрешение задач, выдвигаемых в этой области практикой, наталкивается на далеко недостаточную теоретическую изученность явлений мутности атмосферы.

Выдающееся значение имеют работы Е. С. Кузнецова и В. А. Амбарцумяна, в которых впервые достаточно строго сформулирована и решена для ряда частных случаев задача о распространении света в мутной среде, а также развита теория негоризонтальной видимости.

Из более ранних работ следует назвать ряд статей Г. И. Покровского и И. И. Тихановского, который, между прочим, интересовался вопросами поляризации и случаем анизотропных молекул. Вопросами рассеяния света в верхних слоях атмосферы (в условиях сумерек) и разработкой оптических методов исследования их строения занимались В. Г. Фесенков и И. А. Хвостиков.

Ряд работ советских учёных посвящён вопросу о роли вторичного рассеяния и о реальной индикатриссе рассеяния (В. Г. Фесенков).

Аналогичные вопросы оптики моря успешно разрабатывал В. В. Шулейкин.

Очень интересные результаты получены С. Ф. Родионовым, который изучал ультрафиолетовую, наиболее рассеиваемую радиацию, а также проблему атмосферного озона.

В. Г. Фесенковым и И. А. Хвостиковым проведён ряд работ по исследованию свечения ночного неба, внесших много существенного в понимание этого сложного и трудно поддающегося изучению явления.

Ныне подобные работы сосредоточены в Геофизическом институте Академии Наук СССР (лаборатория И. А. Хвостикова) и Ин-

ституте астрономии и физики Академии Наук Казахской ССР (В. Г. Фесенков).

Укажем ещё на ряд практических вопросов и приложений в области солнечной радиации. Б. П. Вейнберг и В. Б. Вейнберг разрабатывали гелиотехнические конструкции; А. М. Титов писал о наилучших способах улавливания при этом энергии; Д. А. Фёдоров (Агрофизический институт) указывал известные органические плёнки, которые, если ими заменять стекло парников, значительно повышают действие последних.

## 18. ОПТИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

В последнем разделе нашего обзора скажем несколько слов о литературе по оптике.

В дореволюционное время мы имели (90-е годы) замечательное для своих дней «Введение в акустику и оптику» А. Г. Столетова. Теперь оно, конечно, безнадежно устарело. Значительный вклад в педагогическую литературу представлял оптический том курса О. Д. Хвольсона, но с кончиной последнего курс не подвергался ни переработке, ни переизданию.

Всё, что выходило за рамки этих книг, надо было черпать из зарубежных источников. Рынок не предъявлял спроса, а потому даже часть русских физиков печатала свои произведения за границей. Таков, например, краткий, но очень интересный, томик «Дисперсии» Гольдгаммера.

Дело резко меняется после революции.

За эти годы вышли в русском переводе такие фундаментальные книги, как «Оптика» Друде, «Физическая оптика» Вуда, оптический том «Теоретической физики» К. Шефера, курсы оптики М. Борна, Шустера. Из русских оригинальных курсов имеются новые книги Д. А. Рожанского, переработанный заново оптический том «Физики» В. А. Михельсона и совершенно современный университетский курс Г. С. Ландсберга. Наконец, имеется и теоретический курс — «Электромагнитная теория света» В. К. Фредерикса.

Имеется два фундаментальных курса теории оптических приборов (А. И. Тудоровского) и их расчёта (Г. Г. Слюсарев). По спектроскопии имеется курс А. Н. Теренина, по её технике — С. Э. Фриша, по спектральному анализу — А. Н. Филиппова и С. Л. Мандельштама. По фотографии вышли обширные курсы К. В. Чибисова и Я. М. Катушева и В. И. Шеберстова, а также перевод Ангерера. По фотометрии и пирометрии — переводные книги Фабри и Рибо. Кроме того, издан ряд отечественных и переводных монографий по различным специальным вопросам.

Позволим себе ограничиться этими главными указаниями.

---

Нам кажется, что наш далеко не полный очерк дал некоторое понятие о делах советской оптики. Пожелаем ей иметь возможность сказать и своё слово. Мы имеем в виду назревшую потребность в специальном журнале для оптики.

Нам хотелось бы, чтобы среди разнообразных заграничных оптических журналов наш советский журнал сказал это своё слово по-новому; нам кажется, что объединение в одном органе вопросов науки и техники, лабораторного и производственного опыта, теории, расчёта и станка было бы таким новым словом, звучащим по-советски.

---