

ПУТИ РАЗВИТИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

С. И. Вавилов, Ленинград

Два доклада на настоящей сессии Академии — сообщение акад. Д. С. Рождественского и мое — имеют общую задачу охарактеризовать на материале работы Государственного оптического института состояние нашей исследовательской работы по оптике. Разумеется, институт еще не исчерпывает всех исследований в области оптики в Союзе, с другой стороны, наши доклады касаются только избранных задач Оптического института. Поэтому с самого начала следует предупредить о выборочности и неполноте характеристик, содержащихся в наших сообщениях.

ТЕХНИКА СВЕТА В ОПТИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ

ПРИКЛАДНОЙ ХАРАКТЕР СОВРЕМЕННОЙ ОПТИКИ

Две области физики, практически почти исчерпывающие ее содержание — учение о веществе и оптика, учение о свете, — далеко не равноправны ни по объему, ни по практическому значению. Оптика, несомненно, ограниченнее и специальное, а ее техническая роль до сих пор чрезвычайно сужена, потому что энергетические свойства света имеют только минимальное применение. Несмотря на то, что солнечный свет — основной источник земной энергии, современная техника продолжает пользоваться в качестве энергетических ресурсов вторичными источниками: углем, нефтью, водой, ветром и т. д. Мы не сомневаемся, что такое положение — только временное, что рано или поздно и скорее всего, что рано, придется обратиться к первоисточнику, т. е. солнцу. Тогда роли переменятся, и техника света займет главное место среди других разделов техники. Но до сих пор практическая роль света определялась не энергетическими, а совсем иными свойствами. Поэтому даже наивысшие практические достижения оптики, ее микроскопы, дальномеры, фото- и киноаппараты, все же не могли в такой мере изменить жизни человека, как это сделали паровые машины и динамо.

Несмотря на такую ограниченность ближайших технических перспектив оптики, именно практические применения некоторых

свойств света определили ее развитие. Размеры световых волн, очень малые в сравнении с привычными для нас масштабами и, наоборот, большие относительно молекул и атомов, дают возможность получать изображения светящихся и освещенных тел, направлять и концентрировать световые пучки. В этом — основа так называемой оплотехники. До сего времени именно она и является главным практическим двигателем учения о свете.

Чудовищное по эффективности действие света на глаз определило другую важную практическую отрасль учения о свете — светотехнику, занимающуюся вопросами освещения и источниками света.

Наконец, квантовые, корпускулярные свойства света, как мы теперь знаем, объясняют особенность фотоэлектрических и фотохимических процессов и лежат в основе особого раздела оптики, который можно назвать фототехникой.

По трем широким дорогам оплотехники, светотехники и фототехники главным образом и движется современная техника света. Но кроме того, практически неисчислимы приложения учения о свете в различных методах контроля, нашедших применение в лабораториях и на заводах.

Для современного состояния оптики характерно, однако, что не только ее техническая сторона, но и развитие научного исследования идут почти исключительно по линии приложения давно и прочно установленных законов, концентрированных в волновой и геометрической теории и в элементарных вариантах теории квантов.

Этот прикладной в широком смысле слова характер современной оптики вовсе не означает, впрочем, что мы обладаем законченной и вполне безупречной теорией света. Наоборот, несовершенство имеющейся теории отчетливо ощущается физикой. Нам придется вернуться к экспериментальной стороне этого вопроса во второй части сообщения и выяснить, почему неудовлетворительное состояние теории практически не сказывается на развитии оптики, технической и научной, в том числе и спектроскопии, составляющей тему доклада акад. Д. С. Рождественского.

Возникновение оптического института

В истории оптики были две эпохи резкого ускорения ее развития. С того момента, когда в XVI в. телескоп в руках Галилея оказался чудесным орудием астрономии и мореплавания, оптика получила реальные права на существование, возникла оплотехника. Изготовлением и расчетом зеркал и оптических стекол с этой поры занимался весь культурный мир, на этой почве выросла оптика Ньютона, а позднее волновая теория Френеля. От этого импульса, данного Галилеем и поддержанного практическими запросами, в Петербургской Академии наук в XVIII в. процвела оптика Эйлера, Ломоносова и Кулибина, оставившая нам такие замеча-

тельные памятники, как трехтомную „Диоптрику“ Эйлера, ахроматические телескопы и микроскопы. Плоды петербургской оптики пожинали в Западной Европе, в России же эта искусственно взращенная область знания и техники оказалась без почвы и влачила незаметное существование почти до эпохи революции. Вторым мощным толчком развития оптики во всем мире явилась мировая война. Практическое значение оптических приборов — биноклей, дальномеров, прицелов и пр. — в современной армии стало до очевидного понятным. Одно из важных технических преимуществ Германии во время войны составляла ее высокоразвитая оптика. Лихорадочные попытки во Франции, Англии и Америке заполнить оптический пробел не скоро привели к успеху. Вскоре после окончания войны всюду становится ясным, что единственный способ решения трудной задачи — это создание специальных исследовательских и учебных оптических институтов. Такие институты возникают почти одновременно у нас, во Франции и в Италии. Наш Оптический институт создается раньше других институтов, уже в декабре 1918 г. Его подсадила война и осуществила Октябрьская революция, вспыхнувшая во время войны и существовавшая первые годы в условиях гражданской войны и интервенции. Поэтому можно с полным правом сказать, что наша оптика — дитя войны и революции. Оптические институты у нас и во всем мире понадобились потому, что осуществление постройки оптических приборов оказалось очень не простым делом, требующим не только знания физических основ учения о свете и мастерских точной механики, понадобилась школа расчета оптических систем, где, помимо теории, нужны еще в большей мере искусство, интуиция и большой опыт; стала ясной необходимость уметь готовить разнообразные сорта оптического стекла; потребовались тонкие методы испытания оптических приборов. Выяснилось, что оптика как отрасль техники далеко еще не вышла из-под опеки физика и химика. Многим странам пришлось учиться оптике и путем долгого и нелегкого опыта узнать ее деликатные стороны.

Для нас это было особенно трудно, шестая часть земного шара до революции была в отношении оптики *tabula rasa*. Изредка в Академии и в университетах появлялись отдельные, иногда блестящие исследования по вопросам физической оптики, но людей, умеющих вычислять оптические системы, конструировать и контролировать оптические приборы и готовить оптическое стекло, почти не было. Очень скромные зачатки светотехники ютились на задворках электротехники. Фототехника точно так же не имела ни кадров, ни базы. Оживить эту пустыню, научиться технике света и на этой основе помочь оптической промышленности — эта задача руководила инициатором Оптического института Д. С. Рождественским и в значительной степени определила пути развития института.

СТРУКТУРА ОПТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Свое назначение институт понял очень широко. Любая оптическая задача, научная или техническая, заслуживающая исследования, может и даже должна изучаться в институте. Оптика должна быть охвачена практически в полном ее объеме. Эта тенденция и осуществилась постепенно, год за годом, в виде современной достаточно сложной структуры института с его многочисленными секторами и лабораториями. В каждой такой очень самостоятельной научной единице систематически изучается довольно узкий круг оптических задач. Но в целом охватывается почти все. Здесь представлены главные вопросы научной оптики, сосредоточивающейся преимущественно вокруг проблемы строения вещества, очень разнообразные приложения физической оптики, например интерферометрия, применения невидимых инфракрасной и ультрафиолетовой радиаций, оплотехника в самом широком разрезе, начиная от расчета оптических систем, конструкций и методов контроля и кончая деталями технологии изготовления оптического стекла.

Светотехника Оптического института обнимает различные задачи субъективной и объективной фотометрии, расчеты естественного и искусственного освещения, вопросы прожекторов дальнего действия и маячных огней. Фототехника развернулась в большой сектор научной фотографии, прорезающий всю толщу проблематики этой области, начиная от глубоко теоретического вопроса о природе скрытого фотографического изображения до конкретных технологических вопросов фотографического изготовления шкал, цветного фото и кино, изготовления фотографической желатины, стандартизации эмульсий и т. д. Теоретические основы фотохимии будущего шаг за шагом закладываются в фотохимической лаборатории института. Разнообразные и практически очень нужные вопросы физиологической оптики, относящиеся, например, к цветному и стереоскопическому зрению, также достаточно широко представлены в институте. Если добавить, что в институте за последние годы развернулись довольно большие экспериментальные механические и оптические мастерские, что институт в лаборатории астрономической оптики изготавливает наиболее трудные оптические детали для астрономических обсерваторий, что нет оптического прибора или его части, которых институт не был бы в состоянии изготовить у себя в своих лабораториях или мастерских, то картина „оптической полноты“ института станет достаточно наглядной. Разумеется, эта комплексность и „полнота“ института куплены за счет очень внушительного объема, а иногда и недостаточной развернутости отдельных важных лабораторий, и потому вполне уместен вопрос о целесообразности и нужности этой, несомненно, громоздкой структуры. Здесь нужны некоторые пояснения, учитывающие особенности оптики вообще и у нас в частности. Институт возник среди „оптической пустыни“, о которой уже приходилось говорить, и в стране, говоря словами Простаковой, не было

тех оптических „извозчиков“, которые позволили бы „не знать географии“.

Оптическому институту приходилось знать все, вернее учиться всему. Оптотехника, например, требовала тонких интерференционных методов определения показателей преломления и дисперсии, способов фотометрии оптических приборов, знания физиологической оптики, умения изготавливать фотографические пластинки, вполне утилизирующие разрешающую силу хорошего фотографического объектива. Так, комплексность возникла сама собой, естественно и органически нельзя было поручить тот или иной участок кому-то другому. Ни одна лаборатория института (я имею в виду ее задачи) не возникала искусственно, „по схеме“; причина организации всегда сводилась к наличию каких-то белых пятен в нашей оптике, которые необходимо было заполнить. Есть и другое основание, позволяющее институту быть сложным и комплексным, — это единство оптических методов в самых разнообразных задачах. Методы нередко трудны и очень деликатны, но они весьма общие. Интерферометр Майкельсона служил оптику как для проверки основ теории относительности, так и для измерения аберраций объективов и недостатков полированных поверхностей.

Спектрограф, спектрофотометр, микроскоп, поляризационные призмы, фотометры — эти приборы объединяют оптиков любых специальностей. Вынутая из общей организации института, каждая его лаборатория, несомненно, потеряла бы чрезвычайно многое и может быть просто стала бессильной. Насыщенная оптическая атмосфера института, наоборот, приводит к глубокому проникновению физических методов, оптических методов в такие области, которые казались весьма далекими от такой возможности. Едва ли можно было, например, связать явления комбинационного рассеяния света и эллиптической поляризации при отражении под брюстеровым углом с вопросами изготовления оптического стекла иначе, как в комплексной обстановке Оптического института.

Мы приходим таким образом к выводу, что комплексность института неизбежна и является его большим преимуществом до тех пор, по крайней мере, пока в стране не будет новых достаточно сильных центров оптического исследования. Всякая попытка механического деления большого Оптического института на специальные институты была бы, по нашему мнению, явно вредной. Институт — не арифметическая сумма отдельных лабораторий, но органическое целое, значение которого во много раз больше такой суммы.

О МЕТОДАХ РАБОТЫ

Если в области науки можно всегда строить новое сразу на существующем мировом уровне, то в технике неизбежен нелегкий и длительный путь освоения уже пройденного. К оптике это относится в особенно сильной степени. Оптотехника очень кустарна

как в своей теоретической части, т. е. в способах расчета систем, так и при осуществлении, требующем нередко огромных точностей. Удачный расчет достигается иногда только интуицией очень опытного вычислителя, точное воплощение этого расчета — дело рук мастера-художника. Техника такого кустарного типа осваивается особенно трудно и медленно. Этот путь пришлось пройти Оптическому институту, а вместе с ним и постепенно развивавшейся промышленности. Но к счастью во многих случаях институту удалось не повторять пройденной западной оптикой дороги и найти собственные пути. Эта оригинальность методов послужила хорошей школой для института, выработала в нем живую теоретическую инициативу, определяющую его самостоятельность и своеобразие. Я могу это пояснить только на примерах.

Весьма поучителен пример с изготовлением объективов для микроскопов. В этом деле особенно ответственно и деликатна операция центрировки и крепления линз. В Германии, по старинной традиции, ее поручают особо опытным мастерам, и наша промышленность, двигаясь, естественно, по линии наименьшего сопротивления, обратилась просто к помощи этих иностранных мастеров. В таком виде задача явно выпадала бы из ведения техники, превращаясь в искусство. В. П. Линник в Оптическом институте сумел, однако, превратить ее в техническую задачу. Операция центрировки посредством простого оптического приспособления на станке была сведена к установлению совпадения двух зайчиков от передней и задней поверхностей линзы, доступному для малоопытного человека. Далее металлическая оправа, внутри которой указанным способом центрирована линза, обтачивается на том же станочном патроне при той же установке. Обычный варварский метод крепления фронтальной линзы в оправе заменен В. П. Линником электролитическим обрамлением медью. В таком виде сборка микрообъектива стала простой технической операцией, доступной малоквалифицированному рабочему. Сейчас метод В. П. Линника вошел в производство.

Другой пример совсем из иной области. Давно существует потребность в светофильтрах для ультрафиолетовой области спектра. До сих пор мы не знаем веществ, которые позволяли бы выделить любые, достаточно узкие участки ультрафиолетовых лучей. Это — старая задача, интересующая как оптика, так и химика и биолога. В Оптическом институте Е. М. Брумбергом дано новое и очень простое решение этой задачи. Курьезно, что этот метод возвращает нас к одному забытому опыту в „Оптике“ Ньютона. Опыт состоял в том, что солнечный луч падал на систему из двух призм полного внутреннего отражения. На тонком воздушном слое между двумя призмами световой пучок (рис. 1) испытывал полное внутреннее отражение, причем насквозь проходила длинноволновая часть спектра. Метод Брумберга расширяет и обобщает метод Ньютона. Прямоугольные стеклянные призмы заменяются кварцевыми, воздух между ними заменяется чистой жидкостью или раствором, диспер-

сия которых круто возрастает в ультрафиолетовой части спектра. При таких условиях световой пучок, падающий на систему из двух кварцевых призм с жидким слоем между ними, испытывает на границе полное внутреннее отражение; для глаза такая система совершенно непрозрачна, тогда как ультрафиолетовая часть спектра, начиная с определенной длины волны, проходит насквозь почти без ослабления. Меняя жидкость, можно получить эту границу в различных частях ультрафиолетового спектра. Например раствор поваренной соли в воде позволяет при этой

системе выделить область спектра между 2000 и 2100 Å. Принцип этого светофильтра совершенно иной, чем у обычных абсорбционных фильтров. В нем применена не абсорбция, а дисперсия, поэтому он не зависит, например, от толщины слоя жидкости. Вместе с тем он не имеет той температурной чувствительности, какая свойственна очень сложному при практическом осуществлении светофильтру Христиансена.

Своей особой дорогой пришлось пойти институту при налаживании производства оптического стекла на Ленинградском заводе Лензос. В этом деле обычное тривиальное начало — покупка еще во время войны, до революции, секретного технологического рецепта у английской фирмы «бр. Ченс. Медленная, но очень эффективная работа вначале и затем под давлением неудач и возрастания спроса на оптическое стекло

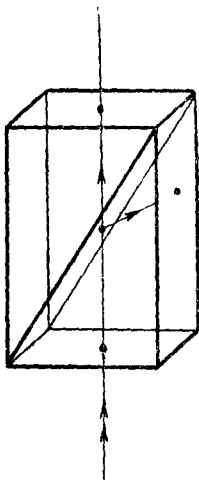


Рис. 1.

резкое изменение технологического процесса, изменение, учетверившее его скорость и повысившее качество стекла. С этого момента, когда завод и институт в совместной работе физиков, химиков и инженеров стали на новые, собственные рельсы, началась неуклонная линия роста и усовершенствования советского оптического стекловарения. За оптическое стекло взялись серьезно и по-новому. Исследования физиков А. А. Лебедева и А. И. Стожарова впервые раскрыли химическую сущность процесса отжига оптического стекла. Оказалось, что отжиг соответствует химическому равновесию двух молекулярных модификаций. При температурах выше отжига в избытке одна из этих модификаций, при температурах ниже отжига — другая. Новая точка зрения в практическом применении привела к улучшению качества стекла в смысле его однородности и обеспечила возможность организации серийного производства ответственных оптических деталей. Впереди следующая большая задача — поиски нового способа плавления оптического стекла, заменяющего старинный метод плавки в печах, связанный с разбиванием горшка и очень малым выходом годного материала. Цель — переход к плавлению электрическим током. Для этого приходится

провести длинные систематические исследования по катализу химических реакций в шихте, позволяющему понизить температуру последующей плавки, и по электропроводности стекла. В итоге многолетней работы акад. И. В. Гребенщикова выясняется громадная роль химических процессов в процессе полировки стекла, а также металлов. На этой основе создаются новые методы полировки, отличающиеся быстротой и прекрасными качествами полированных поверхностей. Постепенно удается вообще стать хозяином поверхности оптического стекла. Сколь ни парадоксально звучит это для оптического уха, привыкшего к законам Френеля, но можно, например, в широких пределах менять коэффициент отражения стекла, не меняя его среднего показателя преломления. Френель здесь практически исправляется Ньютоном, интерференционными явлениями в поверхностной пленке стекла, обладающей иными оптическими постоянными, чем весь блок. Характер такой пленки можно изменять путем химической обработки. Этот результат, помимо применений в лабораторной практике, важен для повышения действующей светосилы оптических систем с большим количеством отражающих поверхностей.

Я ограничусь только еще одним примером для пояснения тезиса об оригинальности технических путей института. Этот пример совершенно другого масштаба, чем предыдущий, но он может представить особый интерес для оптика-физика. Существует много интерференционных приемов для определения аберраций и ошибок оптических систем, например фотографических объективов. Известна, например, громоздкая и очень дорогая установка Тваймана, являющаяся в сущности большим интерферометром Майкельсона, где сравнивается регулярная неискаженная волна с волной, пропускаемой объективом и искаженной аберрациями и ошибками. В. П. Линник предложил новый принцип интерференционного исследования оптических систем. Сходящийся световой пучок от точечного источника, проходящий через исследуемый объектив, падает на полупрозрачную пластинку, в которой имеется очень маленькое отверстие. Это отверстие служит центром элементарных гюйгенсовых волн, свободных от несовершенств или деформаций в падающей волне. Через остальные области полупрозрачной пластинки проходит волна, запечатлевшая недостатки объектива. Эта волна и идеальная гюйгенсова волна, выходящая из маленького отверстия, интерферируют; интерференционная картина рассматривается в зрительную трубу, и по характеру этой картины обычным способом можно судить о качестве исследуемой оптики.

Нетрудно видеть, что изложенный прием — только частный случай нового общего интерференционного метода.

Новые, собственные технические пути — характерная черта работы Оптического института. Это утверждение трудно доказать иначе, как на примерах. Я, разумеется, мог привести здесь только немного. Между тем именно эта черта, как нам кажется, заслуживает особого внимания.

Что дал институт технике

Оправдал ли институт свою задачу? Полагаю, что да. Сейчас у нас уже нет оснований говорить об „оптической *tabula rasa*“. Страна имеет оптику, оптиков, оптическую промышленность, вообще оптическую культуру в широком смысле слова.

Нет сомнений, что в создании этой культуры Оптический институт имел немалое значение. Перед промышленностью у института есть бесспорные заслуги, но есть и не менее бесспорные долги. Оптико-механическая промышленность нашей страны достигла сейчас очень больших размеров, выросла она вместе с институтом и иногда при его существенной помощи. По инициативе института и в совместной работе промышленности и института страна производит теперь свое оптическое стекло, стекло хорошее, любых сортов и в любом количестве. Достаточно сказать, что из нашего стекла мы изготавливаем громадные метровые диски для астрообъективов, что мы имеем все виды цветного оптического стекла, что в технологии оптического стекла мы на некоторых участках, несомненно, обогнали за границу. Институт, безусловно, помог освоению вычислительного дела в стране. Едва ли не добрая половина оптических частей оптических приборов в нашей промышленности рассчитана институтом. Контрольные приборы наших оптических заводов, приборов, которыми исследуется продукция или отдельные фазы сборки, во многих случаях придуманы и осуществлены в институте. Многими десятками исчисляются различные приборы, придуманные, сконструированные и в опытных образцах осуществленные институтом.

Чрезвычайно двинуто вперед изготовление первоклассных оптических частей астрономических приборов. Мастерство, соединенное с новыми методами испытания, позволило получить в некоторых случаях совершенно уникальные экземпляры, далеко превосходящие по совершенству существующие образцы.

В стенах института зародилась советская кристаллооптика с новыми технологическими приемами, с новыми типами поляризационных призм. Самые сложные формы призм сейчас могут быть изготовлены лучше и дешевле, чем за границей. Это — заслуги института, вполне показательные, которые при желании можно выразить и в рублях.

Но наряду с этим институт своевременно не учел одного важного обстоятельства — роста оптико-механической промышленности и ее относительного громадных размеров. Для такой промышленности зачастую неприемлемы те основанные на громадном навыке рабочего кустарные приемы, которые по традиции культивируются на Западе.

Для нашей промышленности нужны совсем новые, еще невиданные технологические процессы, приспособленные к малоквалифицированному рабочему; институт в этом отношении мало помог промышленности и едва ли мог по-настоящему помочь, будучи в основном институтом физическим с руководящими работниками — физиками.

Точная механика, составляющая и по объему и по трудности не менее 60⁰/₀ оптико-механического производства, находилась почти полностью вне компетенции института, и это, конечно, отразилось на качестве производства. Другой дефект, в котором повинны одновременно и промышленность и институт, — это малая забота о руководящих инженерских кадрах для промышленности. Позвольте здесь сделать небольшое отступление.

Летом прошлого года мне пришлось посетить оптические институты в Париже и во Флоренции. Осмотр этих интересных учреждений, приобретших большое значение в своих странах, был очень поучителен для меня прежде всего как живой масштаб для суждения о нашем Оптическом институте. И французский и итальянский институты сейчас еще очень малы по сравнению с нашим, их деятельность почти ограничивается опто техникой, только слегка захватывая некоторые вопросы физиологической оптики, нужные для оплотехники. Но Парижский оптический институт тесно связан с отдельным Институтом научной фотографии и с физикой и астрономией Сорбонны, а Национальный оптический институт во Флоренции в этом году утраивает свой объем, разворачивая отделы светотехники, фотометрии и фотографии. Последний институт связан, кроме того, самым тесным образом с флорентийским Институтом боросиликатов, являющимся по существу маленьким опытным заводом оптического стекла, делающим, правда, еще только первые шаги в этой области. Непосредственный сосед флорентийского Оптического института — расположенная рядом на том же холме Арсетри Астрономическая обсерватория — различными узами инструментального характера связан с Оптическим институтом. В обоих институтах приходится, следовательно, констатировать ту же тенденцию к оптической полноте, комплексности, которая уже давно реализована у нас; они производят впечатление ростков, которые должны развернуться в формы, аналогичные Ленинградскому оптическому институту.

Очень трудно дать сравнительную оценку научно-технической продукции трех институтов. Несомненно, что у всех трех учреждений есть общепризнанные результаты большого значения. В Париже мне пришлось видеть работы по интерферометрии и оптическому стеклу, опирающиеся на результаты работ нашего института, точно так же, как мы нередко пользуемся методами и результатами парижских и флорентийских оптиков. Количественно, соответственно нашему объему, мы даем, конечно, больше. Но маленькие институты в Париже и во Флоренции имеют одно очень важное преимущество перед нами: они бесспорно оказывают большее влияние на промышленность, чем это делаем мы. Как это ни парадоксально, но маленький флорентийский институт, состоящий в ведении министерства народного просвещения, в стране, где оптико-механические заводы являются частными конкурирующими предприятиями, выполняет роль научно-технического дирижера всей промышленности, роль очень эффективную, как в этом мне пришлось убедиться при посещении основных итальянских оптических

заводов. Осуществляется это прежде всего тем, что оптические институты как во Флоренции, так и в Париже являются настолько же исследовательскими, насколько учебными учреждениями. По нашей терминологии эти институты имеют обширную аспирантуру, но аспирантуру своеобразную, предназначенную не для научной работы, а для заводов. Физики и инженеры, кончающие университеты и высшие технические школы, обучаются в течение двух лет в оптических институтах, обучаются на исследовательской работе, прослушивая специальные курсы, проходя вычислительную и лабораторную практику. Это двухлетнее пребывание в атмосфере оптического института вырабатывает своеобразный тип инженера-оптика, соединяющего техническую конкретность с широтой и гибкостью физика.

Мне пришлось познакомиться с несколькими такими бывшими аспирантами оптических институтов во Флоренции и в Париже. Они, как правило, находятся на постах технических директоров заводов или занимают руководящую роль в цехах, в лабораториях, в вычислительных и конструкторских бюро заводов. Они явились реформаторами оптической промышленности, достигшей в Италии и Франции за последние годы значительного расцвета. Посредством своих бывших учеников оптические институты и держат в своих руках научно-технические нити жизни заводов, осуществляют на них свои предложения и свои методы, руководят заводскими лабораториями и находятся с заводами в постоянной живой связи.

Мне кажется, что в этом отношении нам следует поучиться у Запада: промышленность должна пойти навстречу, пошлав на выучку в институт на долгое время своих инженеров. Это — один из лучших способов связи науки и промышленности. Если бы мы смогли прибавить к внушительному списку работ для промышленности непрерывный конвейер инженерных кадров, мы, несомненно, помогли бы промышленности много больше, чем делали это до сих пор.

Говоря о технической работе института, я имел в виду главным образом оптико-механическую промышленность. Действительно, связи с нею у института особенно старые и крепкие, а за последнее время институт приказом т. Орджоникидзе вообще переведен в систему ВООМП. Мы надеемся, что эта новая фаза в жизни института позволит еще в большей степени, чем это имело место до сих пор, претворить творческую мысль института в реальное дело, очень нужное нашей стране.

В своей характеристике технической роли института я принужден был ограничиться схемой вместо конкретного изложения: я совсем не говорил о работах института по светотехнике, фотографии, цветоведению и т. д. Здесь также институт нередко выступал пионером и деловым помощником в вопросах освещения, организации фотохимической промышленности, стекольной промышленности и прочих практических отраслей. Но я боюсь отяготить ваше внимание этими деталями, могу только сослаться на сборник

материалов по нашим докладам, изданный к сессии, где можно найти более конкретные сведения, и перейду ко второй части моего сообщения.

ПРИРОДА СВЕТА

СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА

Наша сессия посвящена проблемам физики. Среди физиков существуют различные точки зрения на то, что следует понимать под словом „физическая проблема“. Нередко можно слышать мнение, что в физике сейчас, в сущности, осталась одна принципиально нерешенная проблема строения атомного ядра и связанные с ней вопросы релятивистской квантовой механики и электродинамики. Современная оптика и Оптический институт, в частности, с этой точки зрения в своей массе, по своим главным руслам, „физическими проблемами“ не занимаются. Как я уже говорил вначале, работа оптика почти во всех случаях сводится к приложению твердо установленных принципов физической оптики, к конкретным научным и техническим задачам.

Едва ли, однако, стоит спорить о словах и определениях и о степени важности, связанной со словом „проблема“. Бесспорно только, что задачи, стоящие перед институтом, трудны и очень нужны, решение же в большинстве случаев может дать только физик. С этой более широкой точки зрения мы и ставим работу Оптического института на обсуждение сессии. Есть, однако, в оптике один участок фронта, практически очень небольшой и малозаметный, но для самого физика кардинальный и заслуживающий названия „физической проблемы“ даже в упомянутом узком смысле как нечто еще принципиальное, неясное и нерешенное. Я имею в виду многовековой вопрос о природе света. С академической кафедры об этой проблеме ровно 180 лет тому назад говорил М. В. Ломоносов в своем „Слове о происхождении света“; этот же вопрос был предметом академического конкурса в 1807 г. и еще много раз поднимался в Академии, но к нему приходится возвращаться и сейчас как к теме важной и нерешенной. В итоге поистине ожесточенной борьбы корпускулярного и волнового воззрений на существо света физика под давлением фактов заняла в этом вопросе теоретические позиции, которые мы не в состоянии пояснить отчетливой механической картиной или моделью. В новой теории концепция волн и частиц слилась в диалектическом синтезе, недоступном механическому истолкованию, — световое движение не является ни волновым, ни корпускулярным, ни механическим наложением того и другого. Сущность света такова, что в ней до известной границы легко прослеживаются и волновые, и корпускулярные свойства, но наше модельное мышление, выросшее на материале обыденных образцов и впечатлений, не в состоянии сформировать конкретной, понятной в обычном смысле слова модели явления. Формальная математическая теория света, основан-

ная на принципах квантовой механики и развитая Дираком, построена по следующей схеме. В замкнутом пространстве, заключающем вещество и свет, все вместе рассматривается как единая система, энергия которой может быть разделена на три части: энергию вещества, энергию электромагнитного поля и энергию связи того и другого. Для этой системы составляются классические уравнения Гамильтона. Далее повторяется прием, аналогичный переходу от уравнений механики Гамильтона к волновому уравнению, примененному Шредингером при выводе его знаменитого основного уравнения квантовой механики.

Иначе говоря, классическое „лучевое“ уравнение Гамильтона произвольно обобщается в квантовое волновое уравнение. Получающийся результат заменяет уравнение классической теории и охватывает в основном все известные свойства света в соответствии с тем, что при выводе использованы как волновые, так и квантовые законы. Едва ли этот прием может быть назван теорией в обычном смысле слова, т. е. однозначным выводом из некоторых более общих и вполне обоснованных принципов; скорее перед нами эвристический путь нахождения нового принципа, хорошо согласующегося с экспериментальными данными. Однако даже с формальной стороны теория Дирака связана с непреодоленными до сих пор трудностями, касающимися структуры электрона, — для собственной энергии электрона получаются бесконечно большие значения.

Новая теория оставляет практически в силе все выводы волновой теории света в отношении законов распространения, если отвлечься при этом от процессов, сопровождающихся изменением длины волны, т. е. потерей энергии и импульса (например комптоновского рассеяния и комбинационного рассеяния), и иметь в виду достаточно мощные световые потоки, соответствующие большому числу фотонов. Поэтому оплотехника и светотехника и могут спокойно развиваться, совершенно не затрагиваясь затруднениями теории света.

С другой стороны, для понимания энергетических соотношений при фотохимических и фотоэлектрических процессах достаточно элементарного корпускулярного представления о свете как потоке световых квантов, фотонов. Поэтому затруднения теории света имели мало влияния также и на развитие фототехники.

Теория перебрала формальный мост между волновыми и квантовыми свойствами света. Однако несовершенство самой теории и ее крайняя абстрактность требуют экспериментальной опоры. Опытному исследованию света в таких условиях, когда теоретически следует ожидать резкого отклонения как от волновых, так и от корпускулярных законов, главным образом и посвящена эта часть моего доклада.

Визуальное наблюдение световых флуктуаций

Необходимое условие такого рода опытов — чрезвычайно слабая интенсивность изучаемого источника света. Теоретические от-

клонения от классических законов распространения возможны только при небольшом числе фотонов, попадающих на воспринимающую поверхность. Следовательно, необходим крайне чувствительный приемник для света. Если говорить о видимом свете, то решение, можно сказать, однозначно, — таким приемником может быть только глаз. В самом деле, его обычный конкурент — фотографическая пластинка — в данном случае оказывается бессильным; нужны колоссальные экспозиции, измеряемые сутками, для того, чтобы получить на пластинке следы изображения при требуемых интенсивностях. При этом статистические отклонения от классических законов распространения, требуемые теорией, должны усредниться и стать незаметными. Действительно, многочисленные опыты с интерференцией света, производившиеся фотографическим методом за последние 20 лет, всегда только подтверждали выводы классической волновой теории. Второй конкурент глаза, более новый, — фотоэлектрический счетчик, — обладает недостаточной чувствительностью даже в ультрафиолетовом спектре, не говоря уже о видимой области. Между тем поразительная чувствительность человеческого глаза, адаптированного на темноту, как показывает простой подсчет, теоретически вполне достаточна для наблюдения квантовых флуктуаций при распространении света. Эта чувствительность глаза, соединенная с наличием резкого порога зрительного ощущения, позволяла надеяться на осуществление проверки выводов современной теории света просто при помощи глаза. Лет шесть тому назад, руководствуясь этими соображениями, я предложил В. И. Федоровой и С. В. Кравкову в институте П. П. Лазарева произвести сравнительные измерения статистических отклонений при установке порога зрительного ощущения в различных областях спектра. Вследствие преимущественной чувствительности адаптированного глаза к сине-зеленой области спектра можно было ожидать, что статистические отклонения в этой области, соответствующей малому числу фотонов, будут особенно большими. Результаты подтверждали ожидания, но вследствие неучтенных физиологических факторов не могли считаться определенными. В 1932 г. Черни и Барнес в Берлине на основе тех же идей произвели несколько качественных опытов, однако еще менее убедительных по той же причине неучета неизбежных физиологических факторов.

В том же 1932 г. мы возобновили опыты по наблюдению световых флуктуаций в Оптическом институте на основе новой методики, которую я изложу в дальнейшем. Первое сообщение о результатах было сделано мною в Физико-математической группе Академии в 1933 г. Наши опыты продолжаются до сего времени, и сегодня я могу дополнить первое сообщение рядом новых данных.

Основное в нашем методе наблюдения сводится к следующему. Имеется небольшая светящаяся площадка, которую я в дальнейшем буду называть просто светящейся точкой, хотя размеры ее должны быть такими, чтобы изображение на сетчатке глаза охватывало достаточно большое число воспринимающих элементов — палочек. Эта точка наблюдается глазом периферически, иначе говоря,

глаз фиксирован на другую, так называемую фиксационную точку, расположенную под некоторым углом к первой. Изображение излучаемой точки получается, следовательно, не в центре глаза, а на периферии, где чувствительность сетчатки, например для сине-зеленой части спектра, значительно больше, чем в центре. При большой яркости точки и постоянстве режима, поддерживающего эту яркость, мы наблюдаем неизменную картину светящейся точки постоянной яркости. Предположим теперь, что яркость исследуемой точки ослаблена настолько, что мы близко подошли к порогу зрительного ощущения глаза. Если этому порогу соответствует небольшое число фотонов в секунду, то на основании новой теории света должны наблюдаться резкие колебания, флуктуации яркости, так как фотоны в световом потоке могут быть распределены только статистически беспорядочно. Но если число фотонов меньше числа, соответствующего значению порога, то зрительного ощущения не возникает, и таким образом наша точка должна являться для глаза не постоянным, но мигающим источником. В такой простой форме опыт не может быть, однако, осуществлен, потому что глаз обладает свойством сохранять зрительное впечатление в течение нескольких десятых секунды, и следовательно, объективные флуктуации усреднятся, сгладятся и перестанут быть заметными. Для устранения этой трудности мы помещаем между глазом и точкой вращающийся сектор с вырезом, открывающим точку для глаза на 0,1 сек. Таким способом наблюдается практически мгновенное состояние яркости источника. После ослабления средней яркости источника до порожного значения должно оказаться, если, конечно, правильны наши теоретические ожидания, что каждому прохождению выреза мимо светящейся точки будет соответствовать видимая вспышка.

Качественные наблюдения такого типа, производившиеся у нас многими лицами, во всех случаях подтвердили ожидание: начиная с некоторой яркости источника, наблюдаются пропуски при прохождении выреза, т. е. отсутствие вспышек, — они тем чаще, чем больше ослабляется яркость. Зависимость частоты вспышек от средней яркости источника позволяет перейти от качественных наблюдений к количественным измерениям.

Обозначим через n_0 число монохроматических квантов, в точности соответствующее порогу зрительного ощущения от раздражения, длящегося 0,1 сек. Пусть n будет среднее число фотонов, доходящее до сетчатки за время вспышки; отношение $\frac{n}{n_0}$ обозначим через x . Тогда, пользуясь теорией вероятности, можно вывести следующее выражение для вероятности наблюдения вспышки:

$$\omega = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{n_0}{2} \cdot \frac{1-x}{x}}. \quad (1)$$

Эта формула — приближенная и справедливая только для следующих пределов изменения вероятности:

$$0,15 < \omega < 0,8 \quad (2)$$

и при условии, что n_0 значительно больше единицы. Числовой подсчет показывает, впрочем, что формула (1) практически справедлива для любых значений n_0 вплоть до $n_0 = 1$, если только соблюдаются пределы (2).

Формула (1) и служит основой нашего количественного метода. Если изменять среднюю величину светового потока, т. е. величину n , то в указанных пределах изменения вероятности должна существовать линейная зависимость вероятности и выражения $\frac{1-x}{\sqrt{x}}$.

Для получения абсолютного значения x можно воспользоваться тем свойством формулы (1), что при $x = 1$, т. е. $n = n_0$, вероятность w должна приобретать значение $1/2$. Зная относительные величины x , что экспериментально осуществимо очень просто, и находя относительное значение x , соответствующее вероятности $1/2$, можно определить абсолютные значения x . Наклон прямой, связывающей вероятность w и величины $\frac{1-x}{\sqrt{x}}$, дает сразу количество фотонов, соответствующее порогу:

$$\frac{dw}{d\left(\frac{1-x}{\sqrt{x}}\right)} = -\frac{1}{2}\sqrt{\frac{n_0}{2}}.$$

Я позволю себе опустить описание деталей экспериментальной установки, замечу только, что вероятность определяется следующим образом.

Каждый оборот диска автоматически отмечается на одном краю бумажной ленты хронографа. Когда наблюдатель замечает вспышку при прохождении выреза в диске, он нажимает рукою на ключ, приводящий в действие второе перо хронографа, — на другом краю бумажной ленты появляется вторая отметка. Отношение числа отметок на этом краю ленты к числу отметок на другом краю, регистрирующем число оборотов диска, и дает вероятность w . Замечу еще, что наблюдения флуктуаций требуют предварительной большой тренировки глаза. В нашей лаборатории эти измерения производились четырьмя наблюдателями.

До настоящего времени произведены сотни измерений, подтвердивших линейную зависимость между вероятностью вспышек и величиной $\frac{1-x}{\sqrt{x}}$, требуемую теорией. На рис. 2 даны примеры таких прямых. По наклону прямой, как я уже сказал, определяется число фотонов, соответствующее порогу. Это число n_0 должно меняться, как известно из физиологических данных, в зависимости от углового расстояния между центром сетчатки и местом наблюдения на сетчатке, от спектрального состава излучаемого света и от индивидуальных свойств глаза наблюдателя. Я остановлюсь прежде всего на спектральной зависимости флуктуаций, так как изучение ее дает решающий аргумент в пользу физического, квантового объяснения явления.

Физиологи в физике неоднократно промеряли так называемую „суммарную“ кривую спектральной чувствительности глаза. На рис. 3 приведены данные Эбнея и Ватсона, на рис. 4 — данные Гехта, причем на рис. 3 даны логарифмы минимальных значений энергии, вызывающих зрительное ощущение на пороге. Эти кривые получены обычными энергетическими наблюдениями. В нашем методе никаких измерений энергии не производится, мы считаем только флуктуации и из них уже выводим поясненным способом число фотонов, соответствующее порогу; произведение n_0 на энергию фотона $h\nu$ дает, очевидно, энергетическое значение порога для данной длины волны света. Наши данные имеют, таким образом, абсо-

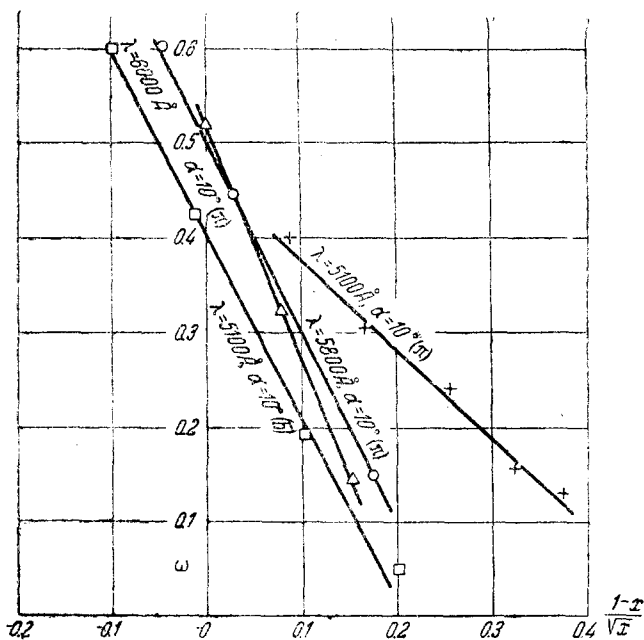


Рис. 2.

лютное значение, которое можно, например, выразить в эргах. К сожалению, физиологические данные — только относительные, поэтому можно рассмотреть лишь отношение полученных нами величин к этим физиологическим измерениям.

Перейдем к анализу результатов. В сводной табл. 1 приведены абсолютные значения минимальной энергии, необходимой для получения зрительного ощущения для различных длин волн. Эти значения вычислены по флуктуациям и относятся к наблюдениям К. Б. Паншина. В этих опытах расстояние между центром глаза и наблюдающим местом сетчатки составляло около 10° . Максимум чувствительности находится в области 5100 Å . При этих условиях

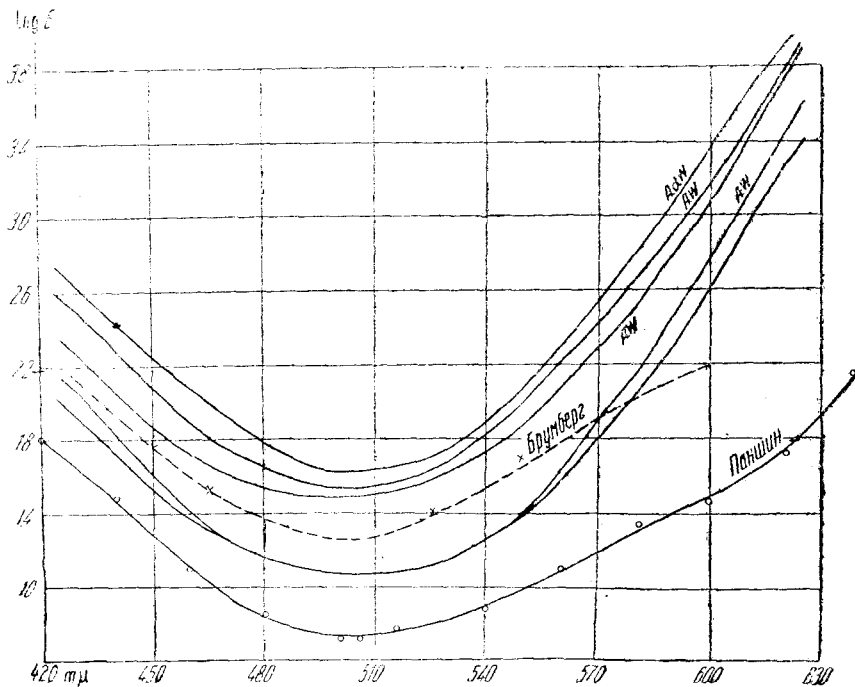


Рис. 3.

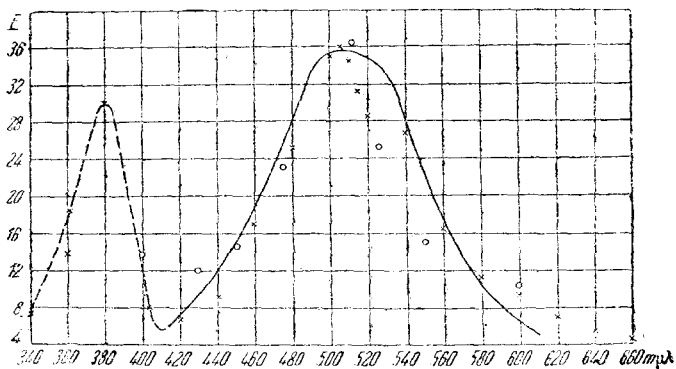


Рис. 4.

глаз указанного наблюдателя замечал еще 8 фотонов $h\nu$. На логарифмическом графике Эбнея и Ватсона для сравнения нанесены значения, полученные методом флуктуаций К. Б. Паншиным и Е. М. Брумбергом. Вертикальные смещения кривых друг относительно друга не имеют значения, так как данные Эбнея и Ватсона

относительны и различны для разных наблюдателей. Из сравнения энергетических и флуктуационных кривых ясно, что те и другие имеют одинаковый ход. Существенные расхождения заметны только в оранжево-красной части спектра.

В этой области измерения вообще особенно трудны и напряженны. Чувствительность сетчатки в этом случае быстро убывает от

ТАБЛИЦА 1
Измерения К. Б. Паншина

λ в м μ	$n_0/h\nu$	E (эрг) $\cdot 10^{10}$
660	280	8,5
640	200	6,5
620	97	3,2
600	50	1,7
580	39	1,3
560	22	0,8
540	12	0,5
520	10,6	0,4
515	9,7	0,37
510	8,4	0,33
505	8,0	0,31
500	8,0 (P)	0,32
480	12	0,49
460	18	0,80
440	46	2,0
420	93	4,4
400	23	1,2
380	7	0,37
360	18	1,0
340	42	3,5

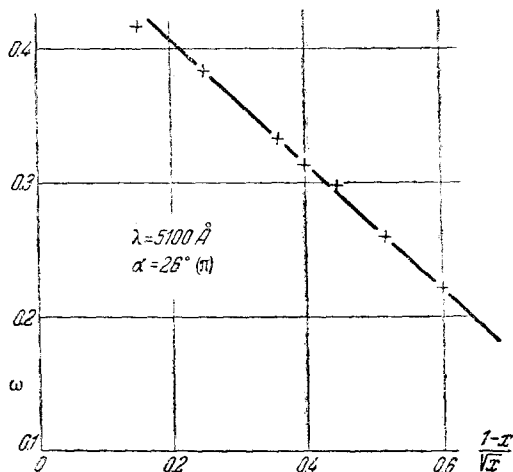


Рис. 5.

центра к периферии, и возможно предположить, что даже в присутствии фиксационной точки глаз стремится повернуться к месту большей чувствительности. Кроме того, условия опыта, несомненно, несколько усложняются присутствием в поле зрения фиксационной точки того же цвета, что и изучаемая радиация. Наконец, значения, полученные в оранжево-красной части, не могут претендовать на большую точность вследствие недостаточной монохроматизации посредством однократного разложения. Ничтожные же примеси, например, зеленых лучей, в этом случае могут сильно исказить результат.

Полученное нами совпадение энергетических и флуктуационных спектральных кривых может считаться, как мы думаем, решающим аргументом в пользу физической, квантовой интерпретации наблюдаемых флуктуаций. В связи с этим интересно отметить несколько эпизодических, к сожалению, недостаточное число раз повторенных наблюдений К. Б. Паншина при значительных периферических углах. Ориентировочные опыты в области максимальной чувствительности (5000 Å) показали, что чувствительность сетчатки

непрерывно возрастает примерно до 26° . Но, начиная отсюда, чувствительность падает при дальнейшем возрастании периферического угла. Таким образом для этой части спектра существует максимум чувствительности сетчатки. В области этого максимума были произведены флуктуационные измерения; результаты их даны графически на рис. 5. Как всегда, получается прямая линия, но с очень малым наклоном. Расчет как точный, так и приближенный даст в этом случае величину, близкую к 1 фотону (1,4), т. е. значение максимальной, физически мыслимой чувствительности. Здесь мы имеем еще один чрезвычайно убедительный аргумент физической природы явления.

Этим, однако, не ограничиваются выводы, к которым нас приводит изучение спектральных флуктуационных кривых. Нельзя ждать полного совпадения флуктуационной и энергетической кривой в тех областях спектра, где главные среды перед сетчаткой обладают сильным поглощением. Метод флуктуаций, как это очевидно из вывода формул, лежащих в его основе, позволяет определять только чувствительность окончательной воспринимающей системы, т. е. сетчатки, в то время как в энергетических методах определяется чувствительность глаза в целом.

В связи с этим очень интересны наблюдения в ультрафиолетовой области спектра. Давно известно, что глаз может видеть ультрафиолетовые лучи, однако чувствительность глаза здесь очень мала. Мы произвели измерения флуктуаций в области ближайшего к видимому конца ультрафиолетового спектра.

Как и при сравнении с данными Эбнея и Ватсона, мы получаем удовлетворительное совпадение кривых в желтой, зеленой и синей частях. В крайней фиолетовой и ультрафиолетовой областях обнаруживается, однако, резкое расхождение. Флуктуационная кривая чувствительности, т. е. кривая чувствительности сетчатки, здесь резко возрастает и для одного из наблюдателей скоро достигает максимума. Этот неожиданный результат может быть, однако, качественно объяснен, если принять во внимание данные о чрезвычайно сильном поглощении ультрафиолетовых лучей в хрусталике глаза.

По физиологическим и медицинским данным абсорбция хрусталика чрезвычайно резко возрастает, начиная приблизительно от 4000 \AA ; количественные измерения, к сожалению, отсутствуют. Отсюда с очевидностью следует, что чувствительность сетчатки в ультрафиолетовой области должна быть, вероятно, в десятки раз больше, чем чувствительность глаза в целом. В подтверждение этого можно сослаться еще на старые опыты Видмарка, показывающие, что у больных, у которых при операции удален хрусталик, граница видимости спектра смещается по крайней мере с 4000 \AA до 3100 \AA , что вполне согласуется с нашими наблюдениями. Можно, следовательно, утверждать, что глаз не видит или очень плохо видит ультрафиолетовые лучи только потому, что по дороге между

светом и сетчаткой находится очень сильный светофильтр — хрусталик. Он выполняет, следовательно, в глазу двойную функцию — оптической линзы и светофильтра.

Совокупность полученных фактов, а именно:

1) требуемая теорией линейная зависимость вероятности флуктуаций w от величины $\frac{1-x}{\sqrt{x}}$;

2) правильная величина наклона этих прямых, позволяющая при комбинировании с измерениями энергии визуально определить величину квантовой постоянной h ;

3) правильный вид сумеречной спектральной кривой, получаемой методом флуктуаций;

4) обнаружение чувствительности сетчатки в ультрафиолетовой области по флуктуациям,

как нам кажется, вполне однозначно решают вопрос о физической квантовой природе наблюдаемых флуктуаций. Мы продолжаем эти исследования, так как, помимо их физического интереса, они имеют значение для исследования свойств глаза, представляя собой новый метод физиологической оптики.

Я позволю себе оставить в стороне эти физиологические вопросы и возвращаюсь к основной теме — проблеме света.

КВАНТОВЫЙ ХАРАКТЕР ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ

Обладея визуальным методом измерения световых флуктуаций, мы могли перейти к проверке наиболее парадоксального следствия современной теории света. С точки зрения этой теории наиболее сильный довод волнового воззрения — явление интерференции, должно иметь квантовый характер; интерферирует не совокупность световых лучей, а, как выражаются теоретики, луч должен интерферировать „сам с собой“. Разумеется, парадоксальность этого утверждения связана с тем, что мы оперируем с неточными образными понятиями „луча“ и „интерференции“, которые в теории заменяются единым целым, недоступным наглядному моделированию.

Я не останавливаюсь на подробностях наших интерференционных опытов. Их отличие от описанных измерений флуктуаций состояло в том, что вместо одной светящейся точки мы наблюдали две рядом расположенные когерентные точки, полученные разложением первичного луча бипризмой Френеля. В теории волн соотношение фаз в этих когерентных лучах, сходящихся в одной точке, и определяет результат интерференции. Действительно, наблюдение таких лучей при очень малых интенсивностях показало, что оба луча флуктуируют совершенно беспорядочно и независимо друг от друга. Случайные совпадения всплесков в обеих точках могут быть сделаны крайне редкими и подчинены обычной статистике, как это было нами проверено непосредственными измерениями. Если средняя яркость двух точек одинакова, то для совпадения

флуктуаций линейное соотношение получится только при подстановке вместо вероятности корня квадратного из вероятности, что просто следует из теории.

Мы произвели наблюдения также непосредственно и в поле интерференции. Эти наблюдения совершенно отчетливо доказывают статистический и вместе с тем до известной степени волновой характер явления. Светлые полосы интерференции мигают, флуктуируют совершенно независимо друг от друга, но темные полосы все время остаются темными. Недостаточность и волновой и корпускулярной трактовки здесь выступает буквально воочию. Свет одновременно и флуктуирует, и интерферирует, но интерференция каждого луча независима от другого.

Описанные опыты как будто бы с полной убедительностью подтверждают выводы квантовой теории света. Но, как всегда, ни один опыт не может быть безапелляционным *experimentum crucis*. Опыт может с несомненностью опровергнуть теорию, но он не в состоянии с такой же несомненностью подтвердить ее. За последнее время теоретическая физика переживает очередной кризис, и возникают сомнения в правильности существующей квантовой электродинамики, а следовательно, и теории света. Я уже указывал на несовершенство этой теории и на ее внутренние противоречия. Несомненно, что волновая механика весьма точно объясняет атомные физические явления в случае скоростей не очень больших, в сравнении со скоростью света, но, когда это условие нарушено, правильность ее выводов становится сомнительной. Между тем оптика, световые явления относятся к этой области. Одним из экспериментальных ударов, заставившим поколебаться основы квантовой электродинамики, послужили недавно опубликованные опыты Шенкланда. Эти измерения явились проверкой знаменитого опыта Боте и Гейгера, как будто бы доказывавшего, что элементарные процессы рассеяния фотонов и отскока электронов в атомах происходят одновременно в соответствии с законами сохранения энергии и импульса. Шенкланд, повторяя этот опыт в измененной установке и с более жесткими лучами, опровергает вывод Боте и Гейгера и находит, что рассеяние фотонов и отскок электронов происходят независимо и во времени не связаны. На основании опубликованных данных трудно еще судить о степени доказательности этих опытов, но для состояния современной теоретической физики весьма характерно, что этот, может быть фиктивный, удар заставляет теоретиков быстро очищать занимаемые позиции.

Для спасения положения Дирак предлагает вернуться на старые позиции теории Бора, Крамерса и Слэтера, оставленные как раз под натиском результатов опыта Боте и Гейгера. Эта теория привлекательна тем, что возвращает к старой „доброй“ электромагнитной теории света, перенося все квантовые трудности на вещество, на атом, в котором должны происходить резкие квантовые изменения состояний в элементарных актах. Однако эта приятная сторона дела получается за счет отказа от сохранения энергии и

импульса. Законы сохранения с этой точки зрения приобретают строгий статистический смысл.

Едва ли можно видеть какую-то принципиальную, тем более философскую невозможность в попытках отказа от законов сохранения для элементарных процессов. Понятия об элементарных частицах и процессах сами по себе являются, несомненно, абстракцией, очень полезной и необходимой, но едва ли верной до конца. Мир неразрывен, и изменения в его частях могут и, вероятно, должны всегда находить отзвук в окружающем. С этой точки зрения нарушения законов сохранения в элементарных процессах могут оказаться столь же допустимыми, как исчезновение энергии в остывшей печи. Кроме того, типично механические понятия энергии и импульса могут оказаться замененными другими, более общими понятиями. Физик чувствует большое смущение при попытках отказа от законов сохранения в элементарных процессах главным образом потому, что он не знает других законов, которые должны быть введены на смену.

Предположим поэтом на один момент, что Дирак прав и лучше возвратиться к Бору—Крамерсу и Слэтеру и, следовательно, к старой электромагнитной теории света. В таком случае фотоны оказываются фикцией, их нет, существуют старые электромагнитные волны и квантовые флуктуации в воспринимающем аппарате. Наши измерения с этой точки зрения оказываются измерениями квантовых флуктуаций в сетчатке глаза. Луч интерферирует „сам с собой“ не потому, что в действительности это так, а потому, что в точке интерференции в веществе статистически нарушается то в одну, то в другую сторону закон сохранения энергии. Наши опыты с этой точки зрения сами по себе еще не в состоянии решить вопроса о реальности фотонов, они только подтверждают квантовый характер действий света. Правда, на этот раз для того, чтобы уйти от фотона, приходится отказаться от законов сохранения.

Свойства фотонов

Можно ли доказать каким-нибудь иным способом объективное существование фотонов и решить спор между последним и предпоследним словом теории света. Теория указывала до сих пор главным образом только на два специфических свойства фотонов—их энергию $h\nu$ и импульс $\frac{h\nu}{c}$. Эти свойства подтверждены, но они могут быть объяснены и без фотонов, если отнестись квантовые прерывности к веществу, предположив нарушение законов сохранения в элементарных процессах. Существуют ли другие свойства фотонов, указываемые теорией, которые позволили бы принципиально решить намечающуюся альтернативу? Анализ законов равновесного температурного излучения, произведенный Эйнштейном в 1909 г., показал, что статистика, которой подчиняется „фотонный газ“ внутри полости черного тела, вообще говоря, отлична от классической. При низких температурах имеет место

классическая статистика, переходящая постепенно для очень высоких температур в так называемую статистику Бозе — Эйнштейна. Это должно сказаться в том, что величина флуктуаций, например, при $30\,000^\circ$ должна быть в 1,3 больше, чем для температуры в 3000° . Такое различие статистических законов световых флуктуаций для разных излучателей приобретает особый интерес, поскольку флуктуации измеримы. В самом деле, если возможно перенести выводы Эйнштейна не только на внутренность полости черного тела, но и на выходящий из него пучок света, то по измерению флуктуаций в монохроматизированном свете принципиально возможно определить температуру источника. Опыт такого рода неосуществим в лабораторных условиях, но можно прибегнуть к астрономическим объектам — звездам различных температур. При этом должно быть, конечно, устранено влияние мерцания звезд, что, повидимому, осуществимо. Такой опыт в случае положительного исхода не давал бы, однако, решения вопроса о существовании фотонов, он доказывал бы только, что наблюдаемые флуктуации частично имеют внешнее происхождение от источника, а не целиком обусловлены флуктуациями приемника. Пользуясь визуальным методом измерения флуктуаций, мы произвели сравнение флуктуаций температурного и люминесцентного излучателя (лампы накаливания и свет флуоресцирующего раствора) при условии одинаковой интенсивности и приблизительно одинакового спектрального состава, что достигалось применением светофильтров и монохроматора. Установка была видоизменена таким образом, что вспышки люминесцентного и температурного излучения следовали по очереди друг за другом, и наблюдатель не имел возможности различить одну вспышку от другой. Разделение отметок на ленте хронографа для того и другого случая производилось автоматически при помощи соответственного электрического соединения вращающегося диска, перьев хронографа и ключа. Многочисленные опыты не обнаружили никакой заметной разницы в законе флуктуаций для температурного и люминесцентного излучателя. К сожалению, мы не имеем теории флуктуаций неравновесного излучения флуоресценции, поэтому найденный результат имеет пока лишь эмпирическое значение.

Теория света Дирака приводит к выводу о существовании эффекта саморассеяния света при пересечении двух световых пучков. Явление аналогично тому, по словам Ломоносова, „в лучах замешательству“, которое должно наблюдаться, если свет имеет корпускулярную природу. Если бы такое явление существовало, мы имели бы перед собой редчайший случай действия света не на вещество, а на свет же и получили бы непосредственное доказательство квантовой фотонной природы света. По расчетам Эйлера и Коккеля эффект должен быть, однако, необычайно малым: эффективное свечение фотона для видимого света может составлять только приблизительно 10^{-70} см². Наблюдать такое рассеяние в лабораторных условиях невозможно. Более благоприятно пространство вокруг солнца, где пересекаются необычайно мощные пучки света,

причем эффект их взаимного действия скрадывается для земного наблюдателя. Если бы мы имели какие-нибудь основания приписать внутреннюю солнечную корону эффекту саморассеяния света, то среднее эффективное свечение фотона для видимого света было бы $10^{-30} - 10^{-40}$ см². Даже эта величина, однако, слишком мала, чтобы имело смысл предпринимать опыты в лабораторных условиях.

Таким образом едва ли есть возможность доказать существование фотонов в пространстве посредством прямого оптического эксперимента. Только тщательная проверка выполнения или, наоборот, нарушения законов сохранения при элементарных актах взаимодействия света и вещества может решить вопрос о реальном существовании фотонов.

Я подошел к концу моего сообщения, очертив в очень схематических чертах крайности, между которыми протекает работа Оптического института, — большую технику и очень маленький участок, где сосредоточено экспериментальное исследование природы света и где институт как будто бы далеко уходит от своих основных практических задач. Однако научное исследование редко бывает практически бесплодным; и в данном случае опыты с флуктуациями света дали начало новому методу измерения чрезвычайно слабых яркостей, недоступных другим методам. Многочисленные применения фотометрического метода порога за последние годы позволили открыть новые явления, например замечательный случай видимого свечения всех чистых жидкостей под действием γ -лучей, законы собственного свечения неба, флуоресценцию растворов платино-синеродистых солей. Новый метод позволил развить количественный, чрезвычайно чувствительный люминесцентный анализ озона и кислорода, разобраться в законах затухания фосфоресцирующих веществ и т. д. Неразрывная линия от глубоконаучных до конкретно-технических проблем, связывающая загадки квантовой электродинамики с трудностями в технологии шамотного горшка, в котором плавится оптическое стекло, — эта линия была и должна, по нашему мнению, остаться осью Оптического института. Мы твердо надеемся, что она будет сохранена и в новой фазе развития института, когда он вошел в систему Объединения оптико-механической промышленности.
