

ИЗ ИСТОРИИ ОПТИКИ И ГОЛОГРАФИИ

Оптика — один из старейших разделов физики, в котором исследуются процессы излучения света, его распространения в различных средах и взаимодействие света с веществом. Еще в древние времена многие известные философы интересовались оптическими явлениями и размышляли о них в своих сочинениях. Однако основы современной оптики были заложены лишь в XVII в. благодаря исследованиям И. Ньютона, Р. Гука, Ф. Гримальди и Х. Гюйгенса.

Работы старых исследователей содержали немало рациональных элементов, но были недостаточно совершенны, и только в начале XIX в. оптика обрела более строгий, научный облик. Убедительными экспериментами Томас Юнг и Огюстен Жан Френель доказали волновую природу света. В своей знаменитой теории электромагнитного поля Максвелл выдвинул идею электромагнитной природы света и установил связь между оптическими и электромагнитными явлениями. К концу XIX в. в результате исследований процессов излучения и поглощения сложилось представление о двойственной природе света: было обнаружено, что в одних случаях он ведет себя как поток частиц, а в других — как волна.

За последнее столетие ученые, используя свойства света, поставили немало экспериментов и создали приборы, которыми существенно обогатили различные области науки. Некоторые из ученых-оптиков за свои заслуги были удостоены Нобелевской премии. Первым из них был Альберт Абрахам Майкельсон. Будучи типичным представителем науки XIX в., он считал, что в физике уже почти все открыто и достичь новых результатов можно, только повысив точность экспериментальных измерений — «выше шестого десятичного знака».

Одним из важных вопросов в науке того времени была проблема так называемого эфира. Физики считали, что это неподвижная среда, заполняющая всю Вселенную, в которой свет распространяется так же, как звук в воздухе. Согласно существовавшим тогда теориям, эфир должен был непременно обнаружиться в некоторых явлениях, и поэтому для доказательства его существования ставились различные опыты. Так, при наличии эфира скорость света должна была зависеть от движения Земли относительно неподвижного эфира.

Постановка таких опытов требовала исключительно точной аппаратуры и большого искусства экспериментаторов. Обе эти предпосылки были налицо у Альберта Майкельсона. В 1881 г. он использовал изобретенный им интерферометр, чтобы решить вопрос об эфире. К своему величайшему удивлению, исследователи обнаружили, что скорость света оказывается одинаковой

во всех направлениях¹. Это означало крушение концепции эфира. Однако большинство физиков, не желая отказываться от укоренившихся теорий, предпочли отвергнуть результаты Майкельсона. Только Хендрик Антон Лоренц в Лейдене и независимо от него Фрэнсис Фицджеральд в Дублине попытались объяснить результаты наблюдений Майкельсона, выдвинув гипотезу (1892 г.), что при движении со скоростью, близкой к скорости света, размеры тела в направлении движения сокращаются. В 1905 г. Эйнштейн доказал, что сокращение Лоренца — Фицджеральда действительно имеет место. Но идея, предложенная этими двумя учеными с единственной целью — «спасти эфир», приобрела в теории относительности другой смысл.

Основой для этих теоретических достижений явились исключительно точные измерения Альберта Майкельсона. В 1907 г. он был удостоен Нобелевской премии за создание прецизионных оптических инструментов и выполненные с их помощью исследования в спектроскопии и метрологии.

В 30-е годы XIX в. была открыта фотография. Всего за несколько десятилетий она из сложного лабораторного процесса, доступного немногим, превратилась в увлечение миллионов людей. Уже в конце XIX в. крупные фирмы производили столь совершенные фотоаппараты, что фотографу-любителю оставалось просто нажимать спуск. Лишь один вопрос оставался неразрешимым: изображения были только черно-белыми. Единственный способ получения цветных снимков состоял в том, чтобы делать негативы трех основных цветов и накладывать их друг на друга. Но это довольно сложный и трудоемкий способ. Поэтому новость о том, что французский физик Габриель Липман изобрел в 1891 г. метод цветной фотографии, вызвала большой интерес.

Липман вставлял фотопластинку в специальную кассету со ртутью, которая создавала абсолютно ровную зеркальную поверхность. Свет, проходя через эмульсию, отражается от зеркала и возвращается обратно. При интерференции между падающим и отраженным лучами образуются стоячие волны, в результате чего кристаллы серебра в проявленной эмульсии располагаются слоями. При рассматривании такого негатива свет отражается от него таким образом, что изображение видно в настоящих цветах.

Метод Липмана нашел применение в спектроскопии, однако для практической фотографии он оказался неудобным. Трудности вызывали кассета с ртутью и очень большое время экспозиции (1 мин). Сама же по себе идея очень интересна, и некоторые специалисты даже считают, что Габриель Липман был близок к открытию голографии. За свои оригинальные работы французский ученый получил в 1908 г. Нобелевскую премию по физике.

В 1872 г. немецкий физик-оптик Эрнст Карл Аббе разработал теорию образования изображений в микроскопе. Это явилось вершиной развития данного оптического инструмента, известного еще с начала XVII в. Два столетия многие ученые-экспериментаторы и мастера-оптики создавали разно-

¹ Этот результат был получен в 1887 г. в экспериментах, проведенных Майкельсоном совместно с Э. Морли.

образные конструкции этого прибора, пока наконец Аббе, основываясь на законах волновой оптики, не рассчитал теоретически пределы возможностей оптического микроскопа; В 1888 г. он стал сотрудником фирмы Карла Цейса в Йене — и с тех пор началось производство высококачественных оптических микроскопов современного типа.

Единственное большое новшество — после работ Аббе — в конструкцию микроскопов было введено в 1935 г. нидерландским физиком Фрицем Цернике, профессором Гронингенского университета. Первоначально его работа была связана с усовершенствованием качества оптической поверхности зеркал для телескопов. В 1935 г. он пришел к мысли, что разработанный им метод может быть применен и в микроскопии.

В микроскопе Цернике лучи света проходят через апертурную диафрагму, отверстие которой имеет форму кольца, а вблизи заднего фокуса объектива помещается так называемая фазовая пластинка, имеющая кольцевидный выступ, или канавку. Лучи света, которые свободно проходят через объект, проходят и через фазовое кольцо, в то время как лучи, рассеянные объектом, отклоняются в сторону. В связи с тем что толщина пластинки различна, возникает разность фаз волн двух световых потоков. В конечном счете в окуляре происходит интерференция лучей, что значительно повышает контрастность изображения. Иными словами, в пластинке различие в фазе волны преобразуется в различие амплитуд, т. е. яркости.

Метод фазового контраста, разработанный Цернике, исключительно ценен для биологических исследований. Обычно живые клетки почти прозрачны. Чтобы были видны детали, их нужно фиксировать и окрашивать. Фазоконтрастный микроскоп позволяет заметить большое количество подробностей структуры, которые иначе не видны или же изменяются при фиксации. Фриц Цернике, автор этой оригинальной идеи, был удостоен в 1953 г. Нобелевской премии по физике за разработку метода фазового контраста и создание фазоконтрастного микроскопа.

В 1947 г. было сделано научное открытие, которое первоначально воспринималось просто как очередное доказательство волновых свойств света, но впоследствии оказалось, что оно является значительно более фундаментальным и может найти широкое применение. Именно тогда была создана голография.

Об этом открытии стало известно в 1948 г., когда английский физик венгерского происхождения Деннис Габор сообщил о разработанном им методе получения объемных изображений. Он назвал этот метод голографией, что означает «полное (объемное) изображение». В отличие от фотографии, которая фиксирует только интенсивность света и создает плоское изображение объекта, голография регистрирует волновой фронт светового луча и воспроизводит трехмерное изображение предмета.

В 1964 году Эммет Лейт и Юрис Упатниекс получили первые голограммы с использованием лазерного луча. Они до некоторой степени видоизменили схему Габора, а теперь голограммы получают путем деления исход-

ного светового луча на два с помощью полупрозрачного зеркала. Одна часть света отражается от объекта, другая идет непосредственно на фотопластинку. Там световые лучи накладываются друг на друга (интерferируют), и, так как они различаются по фазе, возникает сложная интерференционная картина, которая записывается на светочувствительную эмульсию. Это и есть голограмма. Простым глазом на ней виден переплетающийся орнамент из черточек, точек и т. п. На первый взгляд голограмма выглядит как испорченный негатив, однако она обладает замечательными свойствами.

Если теперь направить на голограмму первоначальный, опорный, пучок света (под тем же углом, как и при записи голограммы), то она будет играть роль дифракционной решетки и восстановит волновой фронт луча, отраженного от предмета, в результате чего возникает трехмерное изображение последнего. Если же через голограмму пропустить отраженный луч, то восстановится первоначальный. Этот метод используется для голографического распознавания образов. Например, если сделать голограмму буквы и посмотреть через нее на написанный текст, то везде, где встречается эта буква, будут видны световые пятна.

Предполагают, что наш мозг осуществляет запись и распознавание изображения способом, сходным с записью голограммы. Если разделить голограмму на части, каждая из них также позволяет восстанавливать изображение, хотя оно оказывается более низкого качества. Аналогичные явления происходят и в мозге: при некоторых его поражениях память не теряется полностью, а лишь ухудшается.

При получении первых голограмм Габор столкнулся с большими трудностями, так как для этого требовались специальные источники света, которых тогда не было. Появление лазеров вдохнуло в голографию новую жизнь. Из лабораторного курьеза она превратилась в метод, который с каждым годом все более широко используется в науке, практике и даже в искусстве. Это принесло Деннису Габору признание, хотя и с некоторым опозданием. Он был избран членом Лондонского королевского общества и почетным членом Венгерской академии наук. В 1971 г., 23 года спустя после публикации своих первых работ, Габор получил Нобелевскую премию по физике.

Лазеры

Исследования в области радиоэлектроники и взаимодействия радиоволн с веществом привели некоторых ученых к мысли, что обнаруженное явление резонансного поглощения можно использовать для излучения и усиления электромагнитных волн. Подобная мысль, кстати сказать, высказывалась еще в начале века Альбертом Эйнштейном. Занимаясь вопросами излучения и поглощения света, он в 1916 г. предсказал явление индукционного излучения.

Но лишь в конце 40-х годов экспериментаторы начали «догонять» теоретиков. Многие из них внесли большой вклад в развитие электроники и ее за-

мечательного творения — квантовых генераторов, более известных под звучными названиями «мазер» и «лазер». Слава первооткрывателей в этой области принадлежит двум советским ученым Александру Михайловичу Прохорову и Николаю Геннадиевичу Басову, а также американскому физику Чарлзу Харту Таунсу. В 1954 г. почти одновременно в Физическом институте Академии наук (СССР) и в Колумбийском университете (США) эти ученые создали первые квантовые генераторы.

В качестве рабочего вещества использовался аммиак. Молекулы аммиака приводились в возбужденное состояние, после чего создавались условия для их одновременного возвращения на исходный уровень, в результате чего излучался мощный радиоимпульс. Чарлз Таунс назвал этот аппарат Maser (мазер) — аббревиатура английского выражения «усиление микроволн при помощи индуцированного излучения».

Благодаря своей способности усиливать радиоволны мазеры сразу же нашли применение в радиотелескопах. Период 1954—1960 гг. ознаменовался бурным развитием квантовой радиофизики, когда были созданы разнообразные конструкции квантовых генераторов и разработана их теория. Большую роль в этом развитии сыграли работы французского физика Альфреда Кастлера.

В 1949 г., занимаясь радиоспектроскопией, Кастлер установил, что атомы особенно сильно поглощают свет в том случае, когда их собственные частоты попадают в резонанс с частотой возбуждающего излучения. Кастлер использовал этот эффект в своих исследованиях и, постепенно развивая идею, разработал в 1952 г. метод оптической накачки. Для квантовых генераторов это означает, что атомы рабочего тела приводятся в возбужденное состояние внешним источником светового или микроволнового излучения.

В 1958 г. Чарлз Таунс и Артур Шавлов из фирмы «Белл телефон лабораторис» предложили принцип лазера. Изменение первой буквы указывает на то, что здесь речь идет уже об усилении света при помощи индуцированного излучения Laser. Шавлов предложил использовать для этой цели рубиновые кристаллы цилиндрической формы. В рубине (который представляет собой окись алюминия) имеются микроскопические включения хрома, атомы которого излучают свет.

Рубиновый лазер был создан в 1960 г. американским физиком Теодором Мейманом. В этом приборе рубиновый стержень в течение короткого времени освещался мощным импульсом света. Атомы хрома в кристалле переходили в возбужденное состояние, а затем почти мгновенно возвращались на исходный уровень, испуская кванты света. С двух концов кристалла были помещены два плоских зеркала, причем одно из них — полупрозрачное. Отражаясь поочередно от этих зеркал, световые лучи опять попадают в кристалл, возбуждая новые атомы. Процесс нарастает лавинообразно до тех пор, пока наконец световой импульс не станет настолько мощным, что может пройти через полупрозрачное зеркало.

В этой схеме рубиновый кристалл может быть заменен другим твердым телом, содержащим подходящие для излучения атомы. Такие атомы могут быть рассеяны и в газовой среде. Еще в 1960 г. Али Джаван, американский физик иранского происхождения, создал первый газовый лазер. Впоследствии появились жидкостные лазеры на основе неорганических соединений, а в 1966 г. были созданы первые жидкостные лазеры с органическими красителями, которые благодаря своей низкой стоимости получили широкое распространение.

За три десятилетия с момента создания квантовых генераторов они нашли широкое применение в самых различных сферах человеческой деятельности. Мазеры используются в качестве усилителей в радиотехнике. Лазеры проникают в промышленность, где их огромное по мощности излучение используется в различных технологических операциях. Физики пытаются осуществить с помощью лазерного луча термоядерную реакцию, а геодезисты измеряют расстояние до Луны с точностью до сантиметра. Тонкий лазерный луч играет роль скальпеля при тончайших хирургических операциях. Мы уже говорили о голографии, которая начала по-настоящему развиваться лишь с применением лазеров — мощных источников монохроматического и узконаправленного излучения.

Квантовые генераторы оказались одним из замечательных открытий нашего века. Важность их разработки была оценена Нобелевским комитетом по физике, который присудил в 1964 г. Нобелевскую премию А. М. Прохорову, Н. Г. Басову и Чарлзу Таунсу.

Труды французского исследователя Альфреда Ка-стлера в значительной степени подготовили почву для создания лазеров. Два года спустя признание пришло и к нему: в 1966 г. Ка-стлер стал лауреатом Нобелевской премии по физике.

В руках физиков лазер превратился в тонкий исследовательский инструмент. Его мощное монохроматическое излучение открыло новые возможности для спектроскопических исследований электронной оболочки атомов и молекул. Особенно интенсивно стали развиваться исследования в этой области после 1970 г., когда появились лазеры с меняющейся частотой излучения.

В результате стало возможным плавно регулировать длину волны излучения таким образом, чтобы энергия фотонов точно соответствовала частоте перехода между двумя энергетическими уровнями в атоме. Основы этой новой области — нелинейной лазерной спектроскопии — были заложены Николасом Бломбергенем из Гарвардского университета и независимо Артуром Шавловыш из Станфордского университета. Большой вклад внесли также советские ученые С. Ахманов и Р. Хохлов.

Получив бурное развитие в 70-е годы, лазерная спектроскопия теперь стала исключительно точным методом исследования, позволяющим регистрировать даже отдельные атомы. На ее основе были разработаны методы стабилизации частоты газовых лазеров, излучение которых используется в качестве эталона длины и времени. Лазерный луч «зондирует» различные среды и

позволяет делать экспресс-анализ их состава. С его помощью получают температуру в миллионы градусов и производят спектроскопию высокоионизированных атомов.

Нелинейная лазерная спектроскопия — один из самых совершенных методов исследования в современной экспериментальной физике. Николае Бломберген и Артур Шавлов, два исследователя, внесшие большой вклад в развитие этой области, получили в 1981 г. Нобелевскую премию по физике, разделив ее с Каем Сигбаном, одним из создателей метода рентгеновской спектроскопии.

Эффект Мёссбауэра

Еще в начале 30-х годов, после того как была открыта электромагнитная природа гамма-излучения, ученые заинтересовались вопросом резонансного поглощения гамма-квантов атомными ядрами и возможности наблюдения этого эффекта. Поскольку резонансное (избирательное) поглощение происходит только на определенных частотах, соответствующих энергиям квантовых переходов ядер в возбужденное состояние, наблюдение этого явления могло бы дать ученым тонкий инструмент для исследования атомных ядер. Однако поначалу все попытки исследовать это явление кончались неудачей.

Тогда за дело взялись теоретики. Выяснилось, что причина этого кроется в следующем. Известно, что гамма-квант обладает определенным импульсом, который (в соответствии с законом сохранения импульса) он при поглощении передает ядру; последнее испытывает отдачу — приобретая энергию, оно отскакивает в обратном направлении. Такая же энергия отбирается у ядра при испускании гамма-кванта. При этом линии испускания и поглощения оказываются смещенными друг относительно друга на величину, значительно превышающую ширину линии гамма-излучения.

Установив причину всех неудач, исследователи начали предпринимать попытки преодолеть возникающие трудности каким-то искусственным путем. Однако более эффективный метод наблюдения резонансного поглощения гамма-квантов был предложен позднее.

В 1955 г. в Институт им. Макса Планка (Гейдельберг, ФРГ) поступил в аспирантуру молодой физик Рудольф Людвиг Мёссбауэр. Тема его диссертации — как, впрочем, и большинства диссертаций — была весьма тривиальна: «Исследование резонансного поглощения гамма-квантов», т. е. задачей соискателя было более подробно разобраться в чем-то, в принципе уже известном. Успешная разработка темы сулила Мёссбауэру степень доктора философии. Случилось, однако, нечто большее — диссертация принесла аспиранту Нобелевскую премию.

По плану, намеченному руководителем лаборатории, сначала предполагалось применить уже известный метод наблюдения резонанса путем сильно го нагрева излучающего вещества и вещества-приемника. Однако у аспиран-

та были свои идеи, и он, несмотря на риск провала диссертации и предупреждения со стороны руководителя, пошел по другому пути.

Рудольф Мёссбауэр начал с самого главного: если причиной исчезновения резонанса является отскок атомных ядер, то нельзя ли найти какой-то способ «фиксировать» ядра? Ответ был гениально прост. Это возможно, если атом связан в кристаллической решетке твердого тела и если кристалл охлажден до температуры, близкой к абсолютному нулю. В этом случае отскок атомного ядра при поглощении им гамма-кванта передается миллионам атомов, превращаясь в энергию колебаний кристаллической решетки. Сам Мёссбауэр приводил пример со стрельбой из винтовки. При выстреле происходит отскок, но если винтовка упирается в стену, то отскок ничтожен, так как масса стены во много раз превосходит массу винтовки. Все это легко сформулировать теоретически; однако успешная реализация идеи Мёссбауэра была осуществлена лишь в 1958 г., когда его диссертация уже «висела на волоске». В своем эксперименте Мёссбауэр использовал кристалл иридия, охлажденный жидким воздухом. Тогда-то и был открыт «ядерный гамма-резонанс без отдачи ядра». Вместо этой длинной фразы теперь просто говорят «эффект Мёссбауэра».

Особенно ярко эффект наблюдается, когда источник гамма-излучения медленно движется к мишени. Эффект Мёссбауэра дал в руки ученым исключительно чувствительный экспериментальный метод исследования, который нашел широкое применение в различных областях науки и техники. С его помощью исследуются продолжительность жизни изотопов, магнитные поля атомов и другие свойства твердых тел. Он открывает возможность и для непосредственной проверки теории относительности.

Когда Рудольф Мёссбауэр сделал свое открытие, ему было всего 29 лет. Три года спустя, в 1961 г., он (наряду с Робертом Хофстедтером) стал лауреатом Нобелевской премии по физике — за исследования резонансного поглощения гамма-квантов и открытие эффекта, носящего его имя.

Источник: Чолаков В. Нобелевские премии. Ученые и открытия: Пер. с болг. / Под ред. и с предисл. А.Н. Шамина. — М.: Мир, 1986. — 386с.