

Развитие воззрений на природу света.

З. Цейтлин.

1. Древность и средние века.

Несмотря на то, что древние сравнительно много занимались вопросами оптики, Аристотель был единственным мыслителем древности, который пытался построить общую теорию световых процессов.

Некоторые исследователи (Ziaia, Wilde) утверждают даже, что Аристотель—основоположник волновой теории света. Хотя историк Герлянд справедливо отмечает общую неправильность таких утверждений, но все же они содержат в себе некоторую долю истины. Аристотель, как всегда, исходил из непосредственно эмпирических соображений, которые он связывал с самыми абстрактно метафизическими. В случае звука непосредственно видно, что удар или вдувание воздуха в трубу вызывает звук, так что Аристотелю нетрудно было дать правильную теорию звука. Но свет получается вследствие какого-то таинственного процесса горения и кроме того имеются тела прозрачные и темные. Это привело Аристотеля к мысли, что слова свет, видимость, прозрачность, тьма и непрозрачность—соответствуют каким-то особым началам, которые находятся в телах. Аристотель полемизирует (в *Parva naturalia*, отрывках о «чувствах», о «цветах») с воззрением Эмпедокла и Платона, утверждающих, что свет исходит из глаз. Ибо глаз—аргументирует Аристотель—это начало водянистое, и, следовательно, не может испускать света.

Свет рассматривается Аристотелем, как активное начало (форма) тел, а тьма, как пассивное (материя). Всякая конкретность является сочетанием пассивного и активного начал; тьма—это потенция света, которая, благодаря движению, превращается в конкретную прозрачность, видимость. Герлянд справедливо указывает, что Аристотель отличал свет от его передачи. Огонь виден в тьме, потому что свет передается через тьму, сообщая ей прозрачность. Абсолютно прозрачным Аристотель считал «эфир». Отсюда ясно, в чем зародыш волновой теории в учении Аристотеля, считая, что свет (конкретный)—это энтелехия (целое осуществление) помощью движения, вызываемого формой, Аристотель рассматривал светящееся тело, как источник такой формы. И если прав Лейбниц, что единственной материей Аристотель в действительности считал протяженную материю, а единственной формой—движение в пространстве и времени, то учение Аристотеля в принципе совпадает с учением волновой теории. Тогда потенциальная материя (тьма) Аристотеля—это современный эфир, свет (форма)—активное пространственное дви-

жение, исходящее от тела; это движение и образует конкретный свет—движущиеся в пространстве волны в самом общем смысле слова. Заметим здесь, что Аристотель отрицал абсолютную пустоту, так что в связи с явлением звука мысль Аристотеля легко могла склониться в сторону теории волн.

В средние века были выдающиеся оптики (Альхазен, Рожер Бэкон, Вителло, Пекгам, Теодорих), но и они, как и все почти ученые древности, занимались геометрической оптикой, связанной с нуждами астрономических наблюдений. Такое положение вещей легко объясняется тем, что с практической точки зрения основное как-будто значение имеет геометрическая, а не теоретическая оптика. С другой стороны, явление света, видимо, столь просто, а в действительности столь сложно, что много времени прошло, пока, наконец, появились факты, толкнувшие научную мысль за пределы простой геометрии световых лучей. Эти факты накопились к началу нового времени.

2. Новое время.

Факты эти таковы. Древние и средние века были хорошо знакомы с рефлексией, рефракцией и довольно смутно с дисперсией (радуга, цвета призматических стекол), но никакого понятия не имели об интерференции, диффракции, поляризации и двойном преломлении, т.-е. о фундаментальных оптических явлениях, которые имеют основное значение для построения теории света. Явление дисперсии было вполне сознательно обнаружено в 1665 году Гримальди, который наблюдал преломление солнечных лучей, пропуская их через призму.

Тот же Гримальди открыл и описал диффракцию (1665 г.). Явление интерференции было фактически открыто, хотя научно не познано тем же Гримальди при наблюдении диффракции. Гримальди (и Дешале) изучал также цвета заштрихованных пластинок. Гук в 1665 году открыл интерференционное явление, известное под названием цветов тонких пластинок.

Двойное преломление было открыто (1669) и описано Эразмом Бартолинусом в исландском шпате.

Исследуя двойное преломление, Гюйгенс фактически открыл поляризацию света (1680)—явление, которое вполне отчетливо было познано лишь в 1810 году Малюсом.

Наконец, Рэмер и Кассини (около 1676 г.) открыли скорость распространения света. Вышеперечисленные оптические факты толкали научную мысль по пути исследования сущности световых процессов. Первым крупным теоретиком нового времени в этой области необходимо считать Христиана Гюйгенса, выпустившего в 1690 году знаменитый «Трактат о свете», в котором доказывалась волновая природа света. Некоторые историки физики (Поггендорф, Геллер, Вильде) считают, что впервые такого рода мысль о природе света была высказана Гримальди. Это утверждение основано на одном месте из книги Гримальди о свете ¹⁾, где Гримальди сравнивает распространение света с распространением водяных волн.

Историк Герлянд оспаривает приоритет Гримальди. Если это верно, то первым, отчетливо формулировавшим идею о волновой

¹⁾ Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride. Bononiae 1665, стр. 18.

природе света был Р. Гук ¹⁾. В своей «Микрографии» (1665) Гук говорит о том, что свет—это колебательное движение, исходящее из светящегося тела, как из центра, и распространяющееся через окружающую среду сферическими волнами.

В 1672 году Гук выступает в Королевском обществе с докладом ²⁾ о своей гипотезе света. Гук утверждает, что световые колебания происходят поперек направления распространения, т.-е. выдвигает гипотезу первостепенного для теории света значения.

С наибольшей отчетливостью, однако, идея о волновой природе света выступает у Гюйгенса. У Гюйгенса мы имеем дело уж не со счастливой догадкой, а с вполне определенной теорией. Эту теорию Гюйгенс построил на основании явления двойного преломления в исландском шпате. Исследуя лучи, получающиеся в кристалле исландского шпата, Гюйгенс, путем тщательных измерений, обнаружил, что лучи эти резко отличаются по своим свойствам. Один из лучей, который Гюйгенс назвал обыкновенным, подчиняется обычным законам преломления: падающий и преломленный лучи находятся в одной плоскости и показатель преломления луча, равный $\frac{5}{3}$, не зависит от расположения плоскости падения—преломления в кристалле. Необыкновенный луч в общем случае не остается в плоскости падения и кроме того его показатель преломления зависит от направления луча в кристалле. Гюйгенс дал точный закон распространения необыкновенного луча. Этот закон был им выведен при помощи волновой гипотезы света. Здесь перед нами важный пример значения гипотезы в науке. Поггендорф ³⁾ справедливо говорит, что «совершенно невозможно (*ganz unmöglich*) вывести закон Гюйгенса из ряда угловых измерений и простого их сравнения», т.-е. путем простой индукции, помощью которой получают часто закономерности. Действительно, для определения хода необыкновенного луча в кристалле шпата необходимо установить, что в то время, как волновые поверхности обыкновенного луча представляют сферы, волновые поверхности необыкновенного луча—эллипсоиды, вращения, с осью вращения, параллельной главной оси кристалла, с отношением осей, равным 0,60:0,67. Если отбросить волновую гипотезу, невозможно, конечно, говорить о «волновых поверхностях». Так называемые философы «чистого описания» говорят, что физика должна быть построена «без гипотез», но мы видим, что Гюйгенс прибег к гипотезе не из ошибочной

¹⁾ Леонард Эйлер и многие другие исследователи утверждают, что одним из основателей волновой теории света был Декарт. Солидность этого утверждения видна из письма Ньютона к Ольденбургу (26 дек. 1675 г.), представляющего ответ на инсинуацию Гука, будто бы Ньютон заимствовал волновую гипотезу из «Микрографии» Гука. Ньютон пишет (см. III том Истории Королевского общества Birch'a), что «Гук только видоизменил гипотезу Декарта, превратив картезианское давление или поступательное движение медиума в вибрирующее, а вращательное движение частиц (*globuli*) в необходимость пульсаций». Удивительно, однако, то, что Декарт считал световую передачу мгновенной. (См. его «*De monde, ou traité de la lumière*», стр. 313, изд. Кузена—IV том). К такому заключению Декарта привело отсутствие aberrации света звезд, которая в то время не была еще установлена. Отметим еще Пардиза (1636—1673), прославившегося своей полемикой с Ньютоном. Пардиз, несомненно, был одним из первых ученых, защищавших теорию волн.

²⁾ См. Birch History of Royal Society, Vo. III, стр. 9—12.

³⁾ Geschichte der Physik, S. 647.

врожденной любви к гипотезам, а из повелительной необходимости как-нибудь разобраться в ряде эмпирических данных. Не сумев построить гипотезы, Гюйгенс не сумел объяснить явления поляризации, которое он фактически наблюдал при помощи двух ромбоэдров исландского шпата. Это важнейшее световое явление так и осталось научно не осознанным, пока, наконец, почти через полтора столетия Малюс и гипотеза поперечности световых колебаний (Араго, Френель) не овладели им. Волновая теория света Гюйгенса столкнулась с авторитетом такого мыслителя, как Ньютон. Ньютона обычно причисляют к сторонникам корпускулярной теории света, согласно которой свет состоит из мельчайших частиц (корпускул), испускаемых светящимся телом и несущимся с большой скоростью. Дж.-Дж. Томсон правильно, однако, указывает, что Ньютон не был столь «корпускулярен», как это обычно изображают, что последователи Ньютона были более «корпускулярны», нежели сам учитель. Мы покажем, что это действительно так, что собственно говоря Ньютон не пришел ни к какой определенной точке зрения и если уж говорить о теории света Ньютона, то эту теорию необходимо квалифицировать, как синтез волновой и корпускулярной гипотез строения света.

3. Ньютонова теория света.

Анализ сочинений Ньютона показывает, что сущность метода Ньютона заключалась в предварительном формальном исследовании явлений. Конечно, такое исследование не может совершенно обойтись без тех или иных гипотез, но Ньютон старается избегать расширенных, всеобъемлющих гипотез, для оправдания которых, согласно Ньютону, необходимо всестороннее формальное знание явлений. Вот почему Ньютон отказался от всеобъемлющей гипотезы Декарта о природе тяготения, а, пользуясь законом падения тел Галилея и вытекающей из него гипотезой однородности материи, нашел относительно формальный закон тяготения. Этим был проложен научный путь к построению расширенной гипотезы о природе тяготения. Ньютону приписали, однако, неправильный взгляд, будто бы с установлением закона тяготения проблема тяготения решена, ибо тяготение будто бы согласно Ньютону существенное свойство тел. Ньютон в предисловии к изданию «Оптики» 1717 года отвергает приписываемый ему взгляд на природу тяготения. Ньютон говорит: «чтобы показать, что я не рассматриваю тяготение, как существенное свойство тел, я добавил отдельный вопрос, касающийся причины тяготения, выразив именно в форме вопроса все то, что я хотел бы сказать по этому поводу, так как, за отсутствием экспериментальных данных, я не могу считать себя еще удовлетворенным в этом пункте».

Вот почему «Оптика» Ньютона начинается словами: «Мое намерение в этом произведении заключается не в том, чтобы объяснить свойства света посредством гипотез, а в том, чтобы их просто изложить и доказать рассуждением и опытами»; в конце же «Оптики» добавлены заключительные вопросы, в которых Ньютон ставит на обсуждение две противоположных гипотезы о строении света, волновую и корпускулярную. Из этого факта оче-

видно, что Ньютона ни в коем случае нельзя причислить к представителям корпускулярной теории.

Еще в 1672 году Ньютон прочел в Королевском обществе доклад ¹⁾, в котором пытался примирить обе точки зрения. Когда Гук выступил 15 февраля 1672 года со своим сообщением о свете, Ньютон написал Гуку через Ольденбурга письмо, в котором выразил одобрение волновой гипотезе света и указывал, что он «всегда был такого мнения». Ньютон обещал скоро прислать подробный доклад по этому вопросу. Доклад этот был, однако, представлен лишь 9 декабря 1675 года: «Теория света и цветов, отчасти содержащая гипотезу для объяснения свойств света и т. д.».

В этом докладе мы находим оговорки, смысл которых заключается в том, что прежде чем говорить о той или иной гипотезе света необходимо всестороннее формальное знание явлений. В докладе имеется характерная фраза, с полной очевидностью доказывающая, что Ньютон склонялся к синтетической точке зрения: «Я полагаю, что свет является ни эфиром, ни его колебательным движением, но чем-то совершенно другого рода, исходящим и распространяющимся из светящихся тел. Те, которые хотят, могут считать свет агрегатом перипатетических качеств. Другие могут предположить, что он представляет собою множество мельчайших и быстро несущихся корпускул различных форм, выскакивающих на больших расстояниях, но через незаметные промежутки времени, одна за другой из светящихся тел и непрерывно несущихся вперед, благодаря принципу движения, который сначала ускоряет их, до тех пор, пока сопротивление эфирной среды не уравновесит действия этого принципа, подобно тому, как уравновешивается сила тяжести при падении тела в воде. Бог, который непостижимым для нас образом дал животным силу для произвольных движений, мог без сомнения снабдить тела другими принципами движения, которые мы столь же мало понимаем. Но если кто-либо полагает, что этот принцип может быть только духовной природы, ему легко доказать, что принцип этот механического характера, но я думаю, что лучше не останавливаться на этом. Те же, кто не согласны с этой точкой зрения, могут предположить, что свет—это какая-то другая телесная эманация, или импульс, или движение другой среды, или тонкого эфира (*aethereal spirit*), разлитого по всем телам в эфире, или, наконец, все то, что только могут придумать по этому поводу».

Такой *façon de parler* очень част у Ньютона и привел к тому, что различные исследователи приходят к различным заключениям по поводу действительной точки зрения Ньютона на природу света. В то время, как Поггендорф, например, полагает, что Ньютон был приверженцем волновой теории, Герлянд поддерживает общераспространенное мнение о Ньютоне, как стороннике корпускул. Историк Розенберг считает даже, что Ньютон вообще отвергал построение гипотез и являлся стало быть сторонником метода чистого описания. Но сам Розенберг на основании приводимых им данных не особенно настаивает на этом пункте и ограничивается весьма неопределенными *pro* и *contra*. Действи-

¹⁾ Напечатан в *Phil. Transactions*, № 80, p. 3075.

тельно, если утверждения Поггендорфа и Герлянда нуждаются еще в сильных доказательствах, то метод Ньютона, выявленный в основном его труде «Математические начала естественной философии», с несомненностью доказывает, что утверждение Розенберга неверно. Как мы уже отметили выше, метод этот обнаруживает, что Ньютон как в механике, так и в оптике был диалектиком. Из вопросов ньютоновой «Оптики» видно, что Ньютон считал аргументы в пользу волновой и корпускулярной теорий одинаково сильными и что, стало быть, верной теорией будет та, которая сумеет синтезировать обе точки зрения—в этом именно смысл ссылки Ньютона на всемогущество бога. История развития физики блестяще оправдала гениальную провидательность Ньютона. Но это оправдание получилось в результате диалектического процесса. Антитезис воззрений Гюйгенса был заострен последователями Ньютона, которые по меткому выражению Томсона были более корпускулярны, нежели их учитель. Это отрицание господствовало свыше столетия, пока не было снято отрицанием отрицания—волновой теорией Юнга—Френеля. Но Юнг и Френель не дали еще подлинного синтеза, а только развили и углубили первоначальный тезис. Но это углубление, продолженное в трудах Максвелла—Герца, творцов электромагнитной теории света, и привело, наконец, через теорию квант к подлинному синтезу—к корпускулярно-волновой теории света Дж.-Дж. Томсона. Мы проследим подробнее этапы этого диалектического процесса развития оптических воззрений.

4. Лаплас, Юнг, Френель.

Из крупных ученых XVIII века волновую теорию света поддерживал только Эйлер. Эйлер значительно усовершенствовал теорию Гюйгенса, введя понятие частоты колебаний и зависимости цвета лучей от этой частоты.

Обычно говорят, что причиной поражения теории волн был громадный авторитет Ньютона. Это, конечно, верно, но с материалистической точки зрения необходимо поставить вопрос об идеологической базе ньютонова авторитета. История ньютоновой физики показывает, что с этим авторитетом мало считались, когда он входил в конфликт с желательной для господствующих классов идеологией. Дело доходило до прямой фальсификации воззрений Ньютона с целью придать этим воззрениям желательный характер. Поэтому господство корпускулярного тезиса поддерживалось не только естественным ходом научного развития, но и силами, чуждыми этому развитию, источник которых в работе идеалистической философии над приспособлением к системе научных теорий. Это хорошо видно из отношения к волновой теории знаменитого Лапласа. Дюгем говорит в «Физической теории», что Лаплас из эмиссионной теории, «соединенной с аттракционистской космологией, согласной с принципами Босковича, которые великий голландский атомист (Гюйгенс) объявил абсурдом», что Лаплас извлек оправдание построения Гюйгенса. Эта фраза Дюгема хорошо объясняет одну из причин господства теории корпускул. Дюгем противопоставляет в ней воззрение Лапласа—Босковича атомизму Гюйгенса.

Из истории философии мы знаем, что в то время как атомизм Ньютона—Гюйгенса был материалистическим, Боскович и,

следовательно, Лаплас были атомистами-идеалистами. Боскович именно первый выдвинул идею об атомах, как о непротяженных центрах сил, идею, которая послужила основанием кантовской теории познания.

Что Лаплас сильно склонялся к идеалистической точке зрения, видно из его «Изложения системы мира», в которой он защищает весьма упорно корпускулярную теорию света. Материалистический атомизм Ньютона—Гюйгенса непосредственно вытекает из признания абсолютности пространства; первым признаком идеализма является отрицание этой абсолютности—релятивизация пространства; Лаплас же говорит: «Вселенная, сузившаяся до размеров, занимаемых атомом, представляла бы наблюдателю ту же самую картину. Простота законов природы позволяет нам наблюдать и познавать только отношения». Здесь, в сущности говоря, мы имеем прекрасную формулировку основ философии Канта.

Лаплас восстает против «философов древности», которые, «становясь у источника всего, воображали общие причины для того, чтобы все объяснить». Лаплас противопоставляет метод Декарта методу Бэкона, усиленно рекомендуя индукцию последнего и подчеркивая полную бесплодность гипотез. После опубликования «Диалектики природы» Энгельса не стоит доказывать, что борьба против гипотез и рекламирование пресловутой индукции не что иное, как идеалистическое торможение научного движения. Нечего также говорить о том, что сам Лаплас в своих научных трудах совершенно пренебрегал собственной гносеологией и наперекор ей сделался автором одной из величайших «неиндуктивных» гипотез—гипотезы Канта—Лапласа ¹⁾.

Корпускулярное упорство Лапласа удивляет даже Дюгема. «Трудно читать без улыбки,—пишет Дюгем,—те фразы, которые великий математик писал в тот самый момент, когда уже торжествовала оптика Френеля».

Легко представить себе господствовавшее в официальной науке отношение к теории волн, если такой ум, как Лаплас, говорил об этой теории с «презрительной жалостью» (*pitié méprisante*).

Вот почему, как это часто бывает, силы прогрессивного научного движения возникли не в официальной научной среде. Медик Юнг (1773—1824) и инженер путей сообщения Френель— вот кто были основоположниками волновой оптики в начале XIX столетия. Медик Томас Юнг был слишком учен, чтобы иметь хорошую практику: английская публика, как известно, с большим недоверием относится к слишком ученым врачам, так что один из известнейших докторов Редклиф утверждал даже, что он своей громадной популярностью обязан тому, что прописывал совершенно бессмысленные рецепты. Вот почему, несмотря на то, что Юнг, имея в виду расширение своей практики, тщательно скрывал свое авторство и издавал свои сочинения анонимно, у Юнга оставалось очень много времени для различных посторонних его специальности занятий. Это сво-

¹⁾ Искренность Лапласовского идеализма подозрительна. Лаплас, как известно, не обладал высокими нравственными качествами и большой твердостью высказываемых убеждений. О личности Лапласа см. в недавно вышедшей (Биографическая серия Гиз'а) биографии, составленной В. Фесенковым.

бодное время Юнг использовывал удивительнейшим образом. Он занимался с одинаковым успехом, как философией, математикой, астрономией, физикой, так и египетскими иероглифами, теорией зрения, музыкой, искусством, изучением нравов пауков, железными дорогами, мостовыми арками, трением в осях машин— вплоть до искусства плясания на канате и верховой езды, которые он демонстрировал в цирке Франкони при громадном стечении публики.

Дж.-Дж. Томсон справедливо сравнивает Юнга с Леонардо да Винчи. В историю наук Юнг вошел, главным образом, как один из основоположников волновой теории света, как автор теории цветоощущения Юнга—Гельмгольца и как человек, расшифровавший иероглифы т. н. камня Розетты, открытого в 1799 г. инженером Брусаром около Розетты в Египте. Правда, Араго оспаривает заслугу Юнга в пользу известного египтолога Шампольона, ибо, по словам Араго, Юнг только дал идею расшифровки, сделанную им ошибочно, но сам Араго оценивает заслугу Юнга сопоставлением с заслугой Кеплера в теории тяготения.

В теории света Юнг должен быть поставлен рядом с Френелем. В сочинении «Lectures on Naturale Philosophy» (1807) Юнг с полной отчетливостью выдвигает основной принцип волновой теории — принцип интерференции и обосновывает его известным интерференционным опытом Юнга. Гипотеза поперечности колебаний была формулирована Юнгом (в письме к Араго в 1817 г.) лишь после исследований Малюса (1808) над поляризацией через отражение.

Любопытный пример диалектического закона перехода количества в качество представляет тот путь, которым Юнг пришел к открытию интерференции: Юнг, как и Гук, обратил именно внимание на цвета мыльных пузырей. Ему пришло в голову, что цвета эти обусловлены тонкостью пленки, так что при уменьшении толщины жидкого слоя (количества) появляется удивительное качество окрашивания.

Юнг приложил принцип интерференции также к объяснению диффракционного спектра и изобрел прибор эриометр, в котором диффракционный спектр служил для измерения величины мельчайших тел, как кровяных шариков, волокон шерсти и т. п.

Учению Юнга не удалось, однако, одержать победы над эмиссионной теорией: Юнг не владел в достаточной мере математическим анализом и изложение его было очень темным и малодоступным. Эту победу над господствовавшей оптической теорией одержал Августин Френель. В высшей степени замечательна история оптических работ Френеля. Френель, как инженер путей сообщения, 9 лет провел в самой дикой французской провинции—в Вандее и Дроне. В 1815 году он, как анти-бонапартист, был лишен службы и жил в Нионе (Дром) под надзором полиции. Это время именно и является началом научных работ Френеля. Сначала он занимался aberrацией, гидравликой, технико-химическими вопросами. В середине 1814 года он заинтересовался оптикой, прочтя в «Монитере» сообщение о докладе Био в институте на тему о поляризации света. Обширность тогдашних оптических познаний Френеля видна из его письма (28 де-

кабря 1814 г.) к другу, в котором Френель говорит: «Я не знаю, что понимают под поляризацией света; попросите моего дядю Мериме прислать мне сочинения, в которых я мог бы изучить этот новый вопрос». Спустя 8 месяцев Френель сделался основоположником современной оптики, представив в академию знаменитый «Мемуар о световой диффракции»; этот мемуар, премированный в 1819 году, давал полное объяснение известному явлению, впервые предсказанному Пуассоном (на основании работы Френеля) и опытно подтвержденному Араго, именно: если узкий пучок света падает на небольшой диск, то, вследствие диффракции, в середине тени диска получается столь яркое пятно, как будто диска совершенно не было.

Достойны быть отмеченными те экспериментальные средства, при помощи которых Френель производил свои исследования—кусочки проволоки с картоном заменяли Френелю микрометр, простая линза—гелиостат.

Этот случай, как и случай Фарадея, Лебедева (знаменитый «Лебедевский подвал») и др., доказывает, что великие научные открытия можно делать без роскошно оборудованных лабораторий, которые очень часто скрывают напыщенную и чванливую академическую пустоту. Араго, ознакомившись с работами неизвестного провинциального инженера, к счастью, оказался на высоте понимания интересов науки (что не очень часто случается с официальными ее представителями) и немедленно выхлопотал Френелю отпуск. В 1816 году Френель поставил в академии знаменитый интерференционный опыт, на который, по словам Араго, многие мужи науки смотрели, как на бред болезненного мозга. К величайшему ошеломлению адептов формальной логики свет, соединившись со светом, породил тьму!

В работах по диффракции и интерференции света Френель не входил еще в подробности касательно структуры света и той среды, в которой свет распространяется. Последним вопросам посвящены две другие группы работ Френеля. После того, как Малюс сделал свое замечательное открытие поляризации через отражение¹⁾, а Араго дополнил это открытие—открытием хроматической поляризации, изученной подробно Био и Брюстером, у Френеля оказалось достаточно экспериментальных данных для решения основного вопроса о характере световых колебаний. Сначала Френель, подобно Юнгу, полагал, что световые колебания продольны, но поляризационные явления привели его к несомненному убеждению в поперечности этих колебаний. В самом деле, только гипотеза поперечности колебаний может объяснить тот факт, что прямоугольно поляризованные лучи не интерферируют—для интерференции лучей необходима (но не всегда достаточна) параллельная поляризация.

Последняя группа работ Френеля представляет то, что называют волновой теорией Френеля. Исходным пунктом этой теории является исследование явления двойного лучепреломления. Мы указали выше, что это именно явление послужило также отправным пунктом для теории Гюйгенса. Гюйгенс дал построение хода лучей в кристалле шпата на основе гипотезы волн. Волластон (1802) и Малюс (1810) экспериментально проверили по-

¹⁾ «Theorie de la lumiere reflexie» (1810).

строение Гюйгенса, Френель разработал подробную математическую теорию этого построения на основе волновой гипотезы. Так как в эпоху Френеля еще не существовало теории упругих сред, то френелевское обоснование волновой гипотезы довольно уязвимо, но выведенные им формулы многократно проверявшиеся, блестяще подтверждались опытом. Это доказывает, что гений Френеля давал ему возможность ощупью, во тьме, все же находить верную дорогу. Такое обстоятельство является довольно обычным в истории наук и имеет ту плохую сторону, что дает некоторые козыри в руки сторонников философски чистого описания. Эти сторонники обычно говорят, указывая на оптику Френеля: вот хороший пример того, как, исходя из совершенно ложных механических представлений (механические представления Френеля об эфире), можно получить хорошие математические инструменты чистого описания. Ответом на такого рода указание может служить только покорнейшая просьба основательно изучить сочинения Френеля и показать, почему именно и каким образом ложные представления Френеля приводят к столь замечательным результатам. До тех пор, пока адепты чистого описания не выполнили этой работы, всякие споры с ними бесполезны.

5. Послефренелевская оптика и электромагнитная теория света Максвелла.

Что бы ни говорили представители формального метода, но факт остается фактом, что оптика инженера Френеля, одержавшая столь блестящие победы на научном фронте, построена на базе механических представлений¹⁾. Для всякого здравомыслящего и беспристрастного человека очевидно, что это обстоятельство не случайно, что успех оптики Френеля обусловлен именно тем, что свет действительно представляет собою некий механический процесс, сложность которого такова, что до сих пор еще не удалось раскрыть все его детали. Но сущность световой механики мало-по-малу выясняется чрезвычайно своеобразным и неожиданным путем. Сначала ученые пытались проникнуть в тайну световых процессов при помощи механической теории упругих сред. В этом направлении работал целый ряд выдающихся исследователей, как Навье (1824), Пуассон (1828), Коши (1830), Франц и Карл Нейманны (1832, 1863), Грин (1838), МакКуллох (1837), Ламэ, Буссинеск, Кирхгоф, Рэлей, В. Томсон, Фойгт и другие. Несмотря на то, что усилия этих выдающихся умов оказались во многих отношениях весьма плодотворными, основная проблема построения ясной и последовательной механической теории света не была решена. Можно было думать, что причина этого в несовершенстве теории упругих сред, из которой исходили исследователи. Но имеется одно фундаментальное данное, прямо указывающее, что дело здесь не в теории упругости, а в том, что выбранное направление неправильное. Это данное—электромагнитная теория света Максвелла. Необыкновенные успехи этой теории показывают, что механика световых

¹⁾ См., например, френелевскую «Théorie mécanique de la double refraction».

процессов не та механика, которую ученые пытались построить на основании теории упругости. Эта механика особого рода, та именно, которая предугадывается электромагнитными процессами.

Один из выдающихся современных ученых Густав Ми в своем курсе «Электричество и магнетизм» говорит, что электромагнетизм есть «механика пустоты», т.-е. особой среды, совершенно не похожей на те упругие среды, которыми пытались объяснить световые процессы. Получился таким образом парадоксальный результат: ученые, исходя из ньютоновой механики материальной точки и пользуясь понятием «упругой связи», стремились построить механику упругого эфира, который должен был объяснить световые явления, оказалось, однако, что необходимо из явлений электромагнетизма извлечь особую «механику пустоты», которая одна только в состоянии дать удовлетворительный ответ на поставленные вопросы. Но что это за электромагнитная механика, которая лежит в основе световых процессов? В корне ли она отлична от механики упругости и нет ли между этими видами механики каких-либо точек соприкосновения? На этот вопрос очень хорошо отвечает теория света Мак-Куллоха.

Эта теория является обычной теорией упругой среды и ни о каком электромагнетизме в ней нет даже намека; несмотря на это, полученные Мак-Куллохом уравнения по существу совпадают с уравнениями электромагнитной теории света Максвелла. Этот факт показывает, что электромагнитная механика и механика упругости заключают в себе нечто общее и что, следовательно, причина неудачи механики упругости в объяснении света заключается в неучете какого-то специфического фактора, лежащего в основе световых и, очевидно, электромагнитных процессов. Чем является этот фактор, можно узнать из сравнения теории Мак-Куллоха с другими родственными ей теориями. Это сравнение показывает, что существенная особенность теории Мак-Куллоха в наличии понятия вихревого движения; теория Мак-Куллоха это «вихревая теория эфира» по определению Вангерина ¹⁾.

Вихревая механика является действительным ключом к явлениям электромагнетизма и света. Что это так, хорошо видно из истории ур-ий Максвелла, самый внешний вид которых (символ curl-rot) прямо указывает на вихревое движение. Мы не будем здесь излагать истории этих ур-ий, ограничившись ссылкой на Энгельса («Электричество», стр. 297), который пишет: «Теория Максвелла, Ганкеля, Реньяра, примыкая к новейшим исследованиям о вихревом движении, видит в нем (электричестве) каждая по-своему то же вихревое движение. И таким образом вихри старого Декарта снова находят почетное место в новых областях знания».

Подчеркнем здесь, что подобного рода утверждение мы не найдем ни в одном современном изложении теории Максвелла. Идеалистические катехизаторы науки выбиваются из сил, чтобы затушевать и скрыть то основное, что обусловило успех учения Максвелла и дает возможность объединить классическую механику и электромагнетизм в единое учение о движении материи. Единство физической картины мира на механико-ма-

¹⁾ См. Encyclopädie d. Mat. Wiss. B. V, 21. Статья A. Wangerin'a.

териалистической основе—вот против чего ведется ожесточенная борьба. Эта борьба против вихревой механики эфира, раскрывающей природу электромагнетизма и света, нашла неожиданную поддержку с той стороны, с которой этого можно было менее всего ожидать. Некоторые диалектики-материалисты вообразили, что то, что Энгельс называет «репительным прогрессом» в области электромагнетизма, на самом деле угрожает принципам диалектики. Здесь просто недоразумение. Вихревая механика электромагнитных процессов не тождественна с молярной, например, механикой земных и небесных масс (тем, что Энгельс называет обычно механикой), образуя совершенно новые качества и, следовательно, подтверждая основной диалектический закон перехода количества в качество. Будучи отличной, вихревая механика эфира все же связана с остальными механиками, образуя диалектическое единство, основа которого в единой материи и ее пространственном движении. Вихревая механика эфира решает «первую задачу науки» (Энгельс)—определения той формы пространственного движения материи, которая соответствует электромагнетизму и свету. В этом собственно и заключается задача физики. Философы имеют право и обязаны дополнять точку зрения физики более обширной точкой зрения философии; но поддерживать в физике борьбу против механического истолкования процессов значит, поддерживать идеалистическую реакцию, что совершенно очевидно для тех, кто хоть поверхностно знаком с характером идеалистических выступлений против «механизма» в физике.

6. Теория квант Планка.

Не останавливаясь на таких важных для оптической теории достижениях, как экспериментальное доказательство Физо уменьшения скорости света при его переходе в водяную среду (согласно эмиссионной теории скорость должна увеличиваться), открытии Герцем длинных электромагнитных волн и др., мы перейдем к знаменитой теории квант. После блестящего периода развития френелевского антитезиса наступил кризис. Кризис этот был обусловлен тем, что волновая теория, превосходно объясняя подавляющее большинство оптических явлений, становилась втупик перед некоторыми твердо установленными экспериментальными фактами. Соответствующие примеры приведены в томсоновой «Структуре света», не будем повторять их, а остановимся на рассмотрении того пути, который привел Планка к его гипотезе квант.

После того как Меллони, желая доказать различие световых и тепловых лучей, доказал их тождество, физики занялись вопросами о зависимости теплового лучеиспускания от рода лучей (длины волны) и температуры. Кирхгоф нашел, что существует определенная зависимость между калорическим лучеиспусканием и калорическим поглощением. Эта зависимость указывается законом Кирхгофа: отношение калорического лучеиспускания к калорическому поглощению есть функция, зависящая только от длины волны и температуры, но не от вещества тел, следовательно, функция, одинаковая для всех тел, а потому называемая мировой функцией. Из закона Кирхгофа не-

посредственно вытекает, что существуют тела, испускательная способность которых максимальна. В самом деле, если отношение испускания к поглощению есть определенная при данной длине волны и температуре величина, то эта величина будет максимальной в тех случаях, когда поглощательная способность максимальна, ибо калорическое испускание равно произведению калорического поглощения на мировую функцию. Тела, поглощательная способность которых максимальна, т.-е. такие, которые поглощают все падающие на них лучи, называются абсолютно черными. Такими телами являются, например, толстый слой сажи или платиновая чернь; но не следует, вообще говоря, представлять себе абсолютно черное тело непременно темным—в известных условиях оно может быть столь же светлым, как до-бела накаленный металл ¹⁾.

Планк занимался именно изучением калорического лучеиспускания абсолютно-черного тела с целью определения вышеуказанной мировой функции, обозначаемой обычно через $E(\lambda T)$. Теоретическим абсолютно черным телом было для Планка пустое пространство, окруженное со всех сторон зеркальными стенками, внутри которого находилось известное число осцилляторов Герца, т.-е. механизмов (т. н. диполей, состоящих из положительного и отрицательного электрических полюсов), которые, согласно Герцу, своими колебаниями вызывают световые волны в эфире—лучи, выходящие из маленького отверстия в сосуде с внутренними зеркальными стенками, изолированными от внешнего лучеиспускания и поддерживаемыми при определенной температуре, образуют поток, тождественный с испусканием абсолютно черного тела при той же температуре ²⁾.

Функция $E(\lambda T)$, которую стремился найти Планк, представляет собою энергию черного лучеиспускания, отнесенную к единице поверхности и времени, зависящую от длины волны и температуры.

Но черное лучеиспускание не есть лучеиспускание однородное, т.-е. абсолютно черные тела испускают сложные лучи, которые можно известными способами разложить в непрерывный спектр, так что задача, которую решал Планк,—это задача о распределении энергии в спектре черного лучеиспускания. Каково распределение энергии по определенным участкам этого спектра в зависимости от температуры—вот задача, решение которой и дает ответ на вопрос о форме функции $E(\lambda T)$.

С первого взгляда казалось, что решение этой задачи не представляет каких-либо особых принципиальных трудностей, так как статистическая механика, блестящим образом примененная в области кинетической теории газов, давным давно выработала метод решения подобного рода вопросов. Но тут именно и возникло затруднение. Так называемый закон распределения энергии статистической механики, многократно проверенный на

¹⁾ Например, электрически накаляемый платиновый цилиндр, заключенный в цилиндр из огнеупорного материала,—абсолютно черное тело Луммера и Принсгейма.

²⁾ Идея построения такого абсолютно черного тела была высказана еще Кирхгофом; практически такое тело было впервые построено Христиансенем и Больцманом (1884 г.), подробным же его изучением впервые занялись Луммер и Вин (1896 г.).

опыте, приводит к выводу, что энергия в спектре должна возрастать в сторону более коротких волн, т.-е. к ультра-фиолетовому концу, непосредственное же измерение показывает, что энергия сначала достигает максимума, а затем уменьшается.

Чтобы выйти из этого затруднения, Планк и предложил гипотезу квант согласно которой энергия лучей испускается и поглощается ¹⁾ порциями, пропорциональными частоте, математически

$$E=hn,$$

где n —частота, h —универсальная постоянная, т. н. постоянная Планка.

Чтобы понять, каким образом гипотеза Планка разрешает указанное противоречие, необходимо пояснить, почему энергия в спектре увеличивается в сторону коротких волн. Прибегнем для этого к следующему сравнению: при измерении длины, скажем человеческого роста, вероятность сделать ошибку в километр равна нулю; но ошибка в сантиметр встречается не редко; еще чаще будут ошибки в миллиметр и т. д. Это обстоятельство было формулировано Гауссом в его первом постулате для исчисления ошибок измерений: чем меньше ошибка, тем она чаще встречается. Точно так же, если тело испускает волны всевозможной длины, то, чем меньше длина волны, тем больше вероятность ее образования, так что наибольшее число образовавшихся волн будут волнами малой длины. Но если, как это вытекает из закона Планка, для получения волны малой длины (большой частоты) необходима концентрация большей энергии, то это обстоятельство может противодействовать вышеуказанному статистическому закону и в результате очень короткие волны будут встречаться уже реже.

Опыт действительно подтверждает это заключение: в инфракрасной части спектра статистический закон распределения применим без гипотезы Планка, но, по мере продвижения к ультра-фиолетовому концу, поправка Планка получает все большее значение и, наконец, пройдя через максимум, мы достигаем области, в которой энергия уменьшается вместо того, чтобы увеличиваться, т.-е. области, в которой с полной отчетливостью выявляется значение гипотезы квант и нарушается обычный закон распределения.

Гипотеза квант, выдвинутая при изучении частного вопроса физики, получила в дальнейшем всеобъемлющее значение. Постепенно она начала захватывать все большие и большие области физики, проникла и распространилась в химии, достигнув в теории строения атома Бора максимального успеха. Но, продвигаясь победоносно вперед, гипотеза эта воздвигала на своем пути горы противоречий, неясного и непонятного, ибо ученые, превосходно занимаясь «квантованием», по выражению одного физика, сами не знали, что они собственно делают. Что представляет собой по существу квант энергии и как примирить квантовый характер энергии с тем непрерывным распределением, на кото-

¹⁾ В первоначальной гипотезе 1901 г. квантовый характер имело как лучеиспускание, так и поглощение, в позднейшей теории 1909 года только испускание подчинено закону квант, поглощение же происходит непрерывно.

ром базировалась классическая физика и в частности учение о свете,—на этот вопрос до самого последнего времени не было ответа. Его, по правде говоря, никто почти не пытался получить, так как теория квант была очень удобным предлогом для возрождения формализма и идеализма в науке. Получилась полная мистификация физики. Но так как такое положение противоречит сущности научного познания и, в конце концов, после временных формальных успехов, приводит к научному застою, то в последнее время наметилось в лице Дж.-Дж. Томсона здоровое течение, которое пытается дать физическую интерпретацию теории квант и тем самым разрешить противоречие между новой теорией и вековыми достижениями человеческой мысли. Подробности намечающегося синтеза мы изложили в статье «О мистической природе световых квант» («П. З. М.» № 4 за 1925 г.). Мы не будем здесь повторяться, а лишь вкратце укажем на этапы этого синтеза в связи с учением о структуре света.

7. Синтез волновой и квантовой теории света.

Диалектический материализм учит, что истина одновременно абсолютна и относительна. В каждый данный исторический период человеческая мысль восходит на определенную абсолютную ступень истины для того, чтобы в дальнейшем подняться на следующую ступень. С этой точки зрения несомненным является то, что как старая оптика Френеля, так и новая теория Максвелла представляет собою определенные ступени истины. Развитие науки может видоизменить и дополнить ту истину, которую наша мысль обрела в этих теориях, но не может полностью отказаться от нее, об'явив эту истину ложью. Мы указали выше, в чем заключалось то существенное дополнение, которое принесла с собою электромагнитная теория света. Вихревое движение эфира, которое совершенно не учитывалось в старых теориях, выступило на первый план, как специфическая особенность электромагнитных и световых процессов. Но последователи Максвелла, вместо того, чтобы обратить внимание на эту физическую основу максвелловой теории, восприняли, как это следовало ожидать, лишь формальную сторону его учения. И понятно, что математическая форма, скрывающая в своей оболочке определенное физическое содержание, должна, в конце концов, привести к кризису, если не учитывается это содержание. Таким кризисом было появление теории квант, которая основана на понятии прерывности, в то время, как формально трактуемое учение Максвелла базируется на непрерывности. Но если взять учение Декарта о вихрях в непрерывной среде, развитое в новое время Гельмгольцем, из которого исходил Максвелл, то легко видеть, что это именно учение дает искомый синтез прерывности и непрерывности. В самом деле вихри в непрерывной среде одновременно прерывны и непрерывны: прерывны, как центры интенсивного движения, непрерывны, как образования в непрерывной среде. И действительно, руководясь представлениями вихревой теории, Дж.-Дж. Томсон дал опыт синтеза волновой и квантовой концепций света. Этапы этого синтеза таковы ¹⁾:

¹⁾ Подробности в нашей статье («П. З. М.» № 4 за 1925 г.).

1. Уже с давних пор Дж.-Дж. Томсон на основании физического понимания фарадеевских силовых линий развивал теорию «волоконистого эфира», согласно которой эфир имеет одновременно непрерывное и прерывное строение (вихревые линии в непрерывной среде).

2. В первоначальной теории Дж.-Дж. Томсона свет прерывен постольку, поскольку он представляет волны вдоль волокон силовых линий поля.

3. Независимо от этого картина электромагнитного излучения по Г. Герцу дает очевидную картину квантового характера излучения в виде электромагнитных колец, излучаемых вибратором.

Эти электромагнитные кольцевые волны, называемые Томсоном максвелловскими, образуют, однако, прерывность первого порядка, так как наблюдения показывают, что число силовых линий поля очень велико, так что они образуют «видимую непрерывность» и, кроме того, кольца эти при движении непрерывно расширяются и, стало быть, плотность энергии в среде непрерывно уменьшается по мере удаления от центра лучеиспускания.

4. В связи с теорией Бора, Дж.-Дж. Томсон выдвинул гипотезу образования отдельного неизменяющегося при движении электромагнитного кольца, окруженного волнами максвелловского типа, при чем максимум энергии излучения сосредоточен в кольце.

5. Поразительное сходство колец Герца и Томсона с обычными вихревыми кольцами дает несомненное основание полагать, что гипотеза о вихревом движении, как специфической особенности электромагнитных и световых процессов, несомненно истинна.

Синтез Дж.-Дж. Томсона является пока только наброском теории. Но изложенная нами история развития воззрений на природу света безусловно доказывает, что научная мысль находится здесь на верном пути. Пожелаем всяческого успеха этому здоровому и плодотворному движению.
