

коном сохранения «направления» (*directionis*) или законом сохранения «движения вперед». Лейбниц писал:

«Кроме изложенного выше закона природы, по которому сумма сил остается неизменной, существует другой, не менее общий и не менее согласный с разумом закон: в телах, связанных друг с другом, а также и во всей природе общее количество направления остается неизменным»<sup>1)</sup>.

Под «направлением» Лейбниц понимал здесь количество движения как геометрическую величину, а сумму количеств движения — как геометрическую сумму. При этом он подчеркивал, что сохранение этой величины в природе «не удовлетворяет тем требованиям, которые предъявляются к абсолютному. Ибо возможно, что скорость, количество движения и сила тел будут весьма велики, а их движение вперед будет равно нулю»<sup>2)</sup>.

В природе должно сохраняться нечто, сохранение которого абсолютно, утверждал Лейбниц. Этим абсолютным является «сила». Сила измеряется произведением массы на высоту или для тела, упавшего с высоты, — произведением массы на квадрат скорости. Эта величина сохраняется и при соударении шаров, как показал еще Гюйгенс, и должна, вообще говоря, сохраняться в природе. Этот закон сохранения Лейбниц назвал законом сохранения живых сил.

Лейбниц ввел также понятие «мертвой» силы. «Мертвая» сила — это сила, которая не производит движение, а лишь стремится произвести его, например это тяжесть, действие сжатой пружины и т. п. «Мертвая» сила измеряется мерой Декарта, т. е. произведением массы на скорость, которую она сообщила бы телу в первый момент своего действия. Между «живыми» и «мертвыми» силами существует определенная связь: живая сила как бы рождается в результате бесконечного количества непрерывных действий «мертвой» силы. Учение о живых силах Лейбниц положил в основу учения о движении, названного им динамикой. Он пытался дать общую систему механики, в основе которой лежал закон живых сил. Вопрос о мере «силы» или движения вызвал горячие споры, которые длились довольно долгое время.

## § 12. РАЗВИТИЕ ОПТИКИ

Серьезное развитие в XVII в. получила оптика. Еще в древности были известны два основных закона геометрической оптики: прямолинейного распространения света и отражения. Помимо плоских, вогнутых и выпуклых зеркал еще в средние века были изобретены очки. Наконец, была известна так называемая камера-обскура. Однако, хотя вопрос получения изображения в вогнутых зеркалах, в камере-обскуре, линзах подвергался исследованию, теории этих

<sup>1)</sup> Leibnitz G. *Mathematische Schriften*. B. VI. Herausgegeben, von Gerhardt, 1860, s. 127.

<sup>2)</sup> Там же, s. 217.



Иоганн Кеплер

простейших оптических приборов до XVII в. еще не существовало.

Существенный шаг вперед был сделан немецким астрономом Иоганном Кеплером (1571—1630). Он построил теорию этих оптических приборов, а также объяснил принцип действия глаза. Первая работа по оптике была написана Кеплером в самом начале XVII в., еще до изобретения зрительной трубы. Узнав об этом изобретении, Кеплер опубликовал в 1711 г. работу «Диоптрика, или доказательство того, как становится видимым изображение с помощью зрительной трубы». Кеплер рассматривал каждую точку светящегося предмета как источник расхо-

дящегося пучка лучей. Оптический прибор (хрусталик глаза, линза и т. д.) превращает этот расходящийся пучок в сходящийся и собирает его в одну точку, которая является изображением точки предмета. Таким образом, каждой точке предмета соответствует одна точка изображения, которые вместе дают изображение всего предмета.

Кеплер изучает ход лучей в двух линзах, объясняет действие зрительной трубы Галилея и предлагает новую комбинацию линз — две двояковыпуклые линзы (рис. 22). Эта оптическая система, получившая название зрительной трубы Кеплера, им самим не была осуществлена, но по его описанию такая труба была изготовлена уже в 1613 г. и получила распространение.

Разрабатывая теорию оптических приборов, Кеплер ввел целый ряд понятий и названий, которые применяются в оптике до настоящего времени (фокус, оптическая ось и др.). Интересно, что Кеплеру был неизвестен правильный закон преломления (предложенный им закон был не верен). Однако это не повлияло на выводы его теории. Дело в том, что для параксиальных пучков закон Кеплера позволял получать правильный результат, а именно пропорциональность угла преломления углу падения, т. е. результат, получаемый на основании правильного закона преломления. Последний был установлен голландским ученым Снеллиусом, который его не опубликовал, а затем Декартом, обнародовавшим его в 1637 г. После открытия закона преломления света развитие геометрической оптики пошло быстрее. Были разработаны методы расчета оптических систем, состоящих из тонких линз, и способы улучшения оптических приборов.

Очень рано возникла проблема устранения сферической aberrации, происхождение которой объяснил еще Кеплер. Другой задачей улучшения оптических инструментов была проблема борьбы с хроматической aberrацией. Сущность этого явления стала ясна лишь после открытия Ньютоном дисперсии света.

В XVII в. были сделаны первые открытия в области волновой оптики. Итальянский ученый Гримальди (1618—1663) открыл явление дифракции, описанное им в книге, вышедшей после его смерти в 1665 г. Гримальди заметил, что тень от предмета на экране бывает размытой, при этом в области размытости наблюдается цветная полоса. Это явление он назвал дифракцией, однако дать ему правильное объяснение не смог. Он высказал предположение, что свет, попадая на экран, как бы расплескивается и образует нечто подобное волнам на воде, когда в нее попадает камень.

В XVII в. было открыто также явление интерференции света. Оно было описано Гримальди. Гримальди показал, что если свет проходит через два близких малых отверстия, то на экране, поставленном на пути пучков света, в том месте, где они накладываются друг на друга, возникают полосы. Отсюда следовало, что «прибавление света к свету» может привести к уменьшению его интенсивности. Явление интерференции в тонких пластинках исследовал Роберт Гука (1635—1703), а затем Ньютон. Гук изучал цвета мыльных пленок, а также цвета тонких пластинок из слюды. Он не мог правильно объяснить рассматриваемые им явления, хотя и использовал представление о волновой природе света. После Гука явлением интерференции света занимался Ньютон, который использовал для этой цели специальную установку, с помощью которой можно было наблюдать интерференционные кольца, названные затем кольцами Ньютона. Ньютон произвел соответствующие измерения и получил хорошие результаты. Однако он теоретически не обосновал это явление, ограничившись констатацией, что в зависимости от толщины воздушного слоя свет периодически испытывает «приступы легкого прохождения» и «приступы легкого отражения».

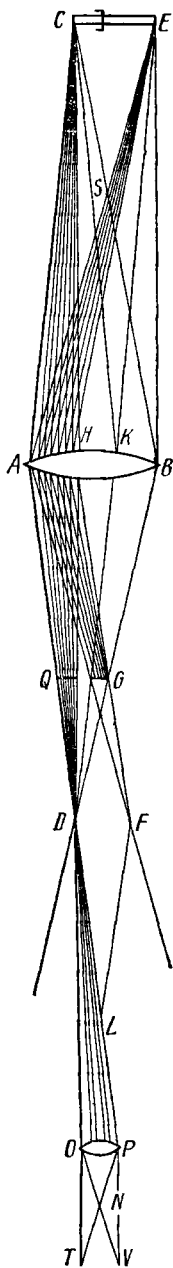


Рис. 22. Ход лучей в зрительной трубе Кеплера (рисунок Кеплера)

Еще одно явление, относящееся к волновой оптике, — явление двойного лучепреломления — было открыто итальянцем Бартолином (1625—1698). Рассматривая предмет через кристалл исландского шпата, он наблюдал, что при определенном расположении предмета и кристалла видны два изображения. Это явление было впервые объяснено Гюйгенсом. Наконец, важным достижением оптики XVII в. было определение скорости света, произведенное датским астрономом Ремером (1644—1710) в 70-х годах. До этого не было ясного представления о том, имеет ли свет конечную скорость, и если имеет, то какова она. Ремер измерил время затмения спутников Юпитера и на основании этих измерений сделал вывод, что скорость света хотя и очень велика, но тем не менее конечна. Он получил, что она равна 300 870 км/с.

Рассматривается вопрос о природе света. В древности о природе света существовали фантастические представления, о которых не стоит упоминать. Однако уже тогда наметились два основных воззрения на природу света, которые в XVII в. оформляются в основные направления. Согласно первому из них, свет — это некоторое действие или движение, передающееся от светящегося предмета особой средой. Согласно второму, свет — это особая субстанция, распространяющаяся от светящегося тела. Эти направления являются исходными пунктами двух теорий света — волновой и корпускулярной.

В XVII в. было немало ученых, начиная с Галилея, которые придерживались корпускулярной теории. Одним из видных сторонников этой теории был французский философ XVII в. Пьер Гассенди (1592—1655). Он рассматривал свет как поток особых атомов — световых частиц. Основателем волновой теории света можно считать Декарта. Декарт, как отмечалось выше, рассматривал свет как давление или импульс, передающиеся от светящегося тела частицами второго элемента, который выполняет роль эфира. Правда, в специальном сочинении, посвященном оптике, Декарт использовал и корпускулярную теорию для объяснения закона преломления света. Он сравнивал распространение света с полетом мяча. Однако эту модель он применял, по его словам, для того чтобы сделать свои рассуждения более понятными. Поэтому неправы историки, которые на основании указанного сочинения причисляют Декарта к последователям корпускулярной теории света. Ученые XVII и XVIII вв. хорошо понимали, что Декарт — родоначальник волновой теории света. Сторонником волновой теории света был Гук. В сочинении «Микрография» (1665) он сравнивает распространение света с распространением круговых волн, или импульсов, на поверхности воды от брошенного камня. Однако Гук, высказав гипотезу о волновой теории света, не смог ее использовать для правильного объяснения уже открытых явлений дифракции и интерференции. Он полагал, что в белом свете колебания среды, в которой они распространяются, перпендикулярны направлению распространения. В окрашенном же свете эти колебания составляют определенный угол к лучу, зависящий от цвета. Цвета тонких пластинок Гук пытался объяснить

сложением световых импульсов, отраженных от передней и задней поверхностей пластинки и в результате этого изменивших направление.

Теория, представляющая свет как распространяющееся движение в эфире, была развита Гюйгенсом. Он изложил эту теорию в «Трактате о свете», опубликованном в 1690 г. (написан он был раньше, в 70-х годах). Гюйгенс полагает, что свет распространяется в тонкой среде — эфире, которая заполняет все мировое пространство и поры тел. Этот эфир состоит из мельчайших упругих шариков. Распространение света — процесс распространения малых движений от шарика к шару — подобно распространяющемуся импульсу вдоль стальных шаров, соприкасающихся друг с другом и вытянутых в одну линию. Объясняя механизм распространения импульса в эфире, Гюйгенс выдвинул принцип, носящий его имя. Он писал:

«По поводу процесса образования этих волн следует еще отметить, что каждая частица вещества, в котором распространяется волна, должна сообщать свое движение не только ближайшей частице, лежащей на проведенной от светящейся точки прямой, но необходимо сообщает его также и всем другим частицам, которые касаются ее и препятствуют ее движению. Таким образом, вокруг каждой частицы должна образоваться волна, центром которой она является»<sup>1)</sup>.

Каждая из элементарных сферических волн чрезвычайно слаба, и световой эффект наблюдается только там, где проходит их огибающая. Применение этого принципа дает возможность Гюйгенсу объяснить с точки зрения волновой теории прямолинейное распространение света, законы отражения и преломления. Теория Гюйгенса была, конечно, большим успехом в развитии волновой теории света. Он показал, что она не противоречит законам геометрической оптики, а объясняет их. Однако явления собственно волновой оптики, которые уже были открыты, Гюйгенс не рассматривает, исключая явление двойного лучепреломления. Причиной этого является то, что в теории Гюйгенса отсутствовало представление о периодичности световых волн и она не обладала преимуществом, которое имеет волновая теория перед корпускулярной теорией. Но дело не только в том, что она не затрагивала явления интерференции и дифракции. Главным ее недостатком являлось то, что она была теорией бесцветного света. Поэтому она не могла конкурировать с корпускулярной теорией света, которой, как казалось, Ньютон дал новое обоснование. Этим кажущимся обоснованием корпускулярной теории света было открытие Ньютоном дисперсии света.

Ньютон уже в начале научной деятельности обратился к оптике. Занявшись улучшением телескопа, он пришел к выводу, что недостатки этого прибора объясняются не только сферической абберацией, что существует другая причина, получившая название хроматической абберации. Исследуя это явление, Ньютон открыл дисперсию света. Ньютон сконструировал зеркальный телескоп, который исключает хроматическую абберацию. Первый телескоп — рефлек-

---

<sup>1)</sup> Гюйгенс Х. Трактат о свете. М. — Л., Объединенное научно-техническое изд-во НКТП СССР. Главная редакция общетехнической литературы, 1935, с. 31.

тор — Ньютон построил в 1668 г. В 1671 г. он посылает описание усовершенствованного варианта телескопа в Королевское общество. В 1672 г. на заседании этого общества был заслушан доклад Ньютона «Новая теория света и цветов». В нем сообщалась теория дисперсии света, которую Ньютон еще раньше излагал в лекциях, читаемых им в Кембридже. Значительно позже Ньютон изложил теорию дисперсии света и другие исследования по оптике в большой книге «Оптика», вышедшей в 1704 г. Явление дисперсии света было, конечно, известно очень давно. Уже до Ньютона производились и опыты по разложению белого цвета призмой. Однако удовлетворительного объяснения этого явления не существовало, так же как не было удовлетворительного понимания, что такое цвет. Многие считали процесс разложения белого цвета призмой и подобные явления процессом видоизменения света. В частности еще существовало мнение Аристотеля, что цвет объясняется большей или меньшей сгущенностью света. Наибольшее сгущение света — это белый свет. Когда начинается разряжение этого света, то появляются цвета. Существовали и другие мнения по этому поводу.

На основе своих экспериментов Ньютон пришел к следующим выводам: существует белый свет, который состоит из лучей разных цветов. Проходя через призму, белый свет не видоизменяется, а разделяется на отдельные монохроматические лучи, которые уже больше не разлагаются. Они сохраняют свои свойства (показатель преломления и цвет) при любых последующих преломлениях и отражениях. Эти выводы следовали, по мнению Ньютона, из опытов, которые он излагал в своих лекциях, а затем в «Оптике». Приведем некоторые из них.

В ставне окна Ньютон проделывал маленькое отверстие, через которое проходил узкий пучок солнечного света. На пути пучка лучей помещалась призма, которая разлагала его в спектр, наблюдавшийся на белом экране, поставленном за призмой. Этот опыт, однако, еще не позволяет сделать определенное заключение о наблюдаемом явлении. Так, нельзя решить, видоизменяется ли свет призмой или она разлагает его на составные части. Для решения последнего вопроса Ньютон помещает за первой призмой вторую так, что преломляющее ребро ее перпендикулярно преломляющему

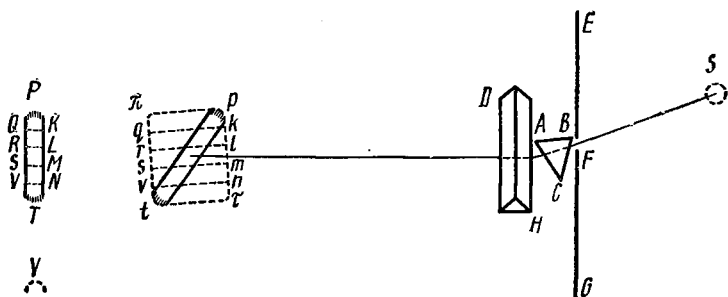


Рис. 23

ребру первой. Теперь на экране наблюдается следующая картина: полученный от первой призмы спектр больше не разлагается, а лишь поворачивается на некоторый угол (рис. 23). Этот опыт показывает, что лучи, соответствующие отдельным участкам спектра и имеющие определенную окраску, уже больше не разлагаются призмой,

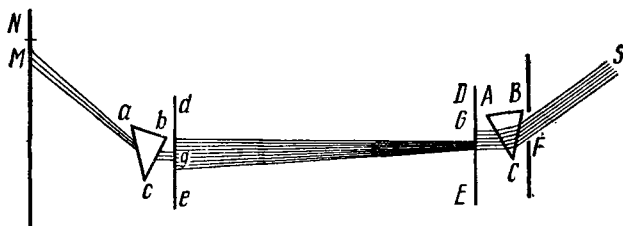


Рис. 24

а только отклоняются. При этом лучи, которые отклонялись первой призмой на больший угол, отклоняются на больший угол и второй призмой.

Другой опыт Ньютона заключался в следующем. За первой призмой помещаются два экрана с малыми отверстиями (рис. 24). Узкий пучок монохроматического света, прошедший через эти два отверстия, пропускается через вторую призму. Вторая призма уже не разлагает этот пучок, а только отклоняет его на определенный угол. При вращении первой призмы этот угол изменяется. При этом больше отклоняются второй призмой лучи, которые сильнее преломляются первой.

Результаты опытов Ньютона легко можно было толковать с помощью корпускулярной теории света, гораздо труднее это сделать с позиций волновой теории. Действительно, из опытов, как казалось, определенно следует, что белый свет — это простая совокупность цветных лучей. Цветность и соответственно показатель преломления — индивидуальные особенности каждого из таких лучей. Призма разделяет монохроматические лучи, и в дальнейшем каждый из них уже не изменяется ни при преломлении, ни при отражении. Он сохраняет свою индивидуальность, и естественно было предположить, что он является «атомом света» и чем-то субстанциональным. С помощью волновой теории гораздо труднее было объяснить открытие Ньютона. С точки зрения волновой теории цветность света должна была бы объясняться какой-то особенностью движения светоносной среды. Причем эта особенность должна была сохраняться при всех дальнейших воздействиях на монохроматический свет. Она должна оставаться неизменной и при всех последующих преломлениях и отражениях. Теории распространения волн, однако, еще не существовало, и в теориях, которые мы причисляем к волновым, собственно представления о волнах не содержалось, поэтому было трудно представить эту особенность движения светоносной среды. Естественно, что Ньютон склоняется к корпускуляр-

ной теории света. Конечно, если бы ему было известно явление Доплера или какое-либо другое явление, при котором монохроматический световой луч меняет свою окраску и коэффициент преломления, то, возможно, он пришел бы к другим выводам о природе света. Он писал:

«Мы видим, что причина цветов находится не в телах, а в свете, поэтому у нас имеется прочное основание считать свет субстанцией»<sup>1)</sup>.

Однако Ньютон чувствовал неприязнь к слишком гипотетическим рассуждениям и старался быть осторожным в своих выводах. Поэтому он добавляет:

«Не так легко, однако, с несомненностью определить, что такое свет, почему он преломляется и каким способом или действием он вызывает в нашей душе представление цветов; я не хочу здесь смешивать домыслы и достоверности»<sup>2)</sup>.

Открытия Ньютона и его соображения вызвали дискуссию. Особенно активно против выводов Ньютона выступил Гук. Гук отрицал, что белый свет является суммой цветных лучей и что призма разделяет их. Признать это, утверждал Гук, все равно, что признать утверждения о том, что все тона органа содержатся в воздухе его мехов. По мнению Гука, разложение белого света призмой является его видоизменением. Спор, начатый Гуком, касался вопроса реальности монохроматических составляющих в сложном импульсе. Этот вопрос исследуют гораздо позже, начиная с 80-х годов прошлого столетия, Гуи, Релей, Шустер, а затем Манделъштам. При этом было показано, что белый свет нельзя считать простой суммой гармонических волн. Белый свет — это поток хаотически следующих друг за другом световых импульсов. Выделение же монохроматических составляющих этих импульсов объясняется не только свойствами самого белого света, но и свойствами аппарата, который при этом используется. Таким образом, взгляды Гука на природу белого света и на действие призмы более верны, нежели у Ньютона. Дискуссия между Ньютоном и Гуком о природе света не привела к примирению их позиций. После нее Ньютон не выступал по вопросам оптики вплоть до 1704 г., когда уже после смерти Гука вышло в свет его сочинение «Оптика».

Ньютон исследовал не только явления дисперсии света, но и явления интерференции, дифракции и двойного лучепреломления. Как уже отмечалось, он первый провел количественный анализ явления интерференции в опыте с кольцами Ньютона. Также упоминалось, что Ньютон объяснял появление колец в этом опыте как результат «приступов», которые испытывает свет при отражении и преломлении. В «Оптике» Ньютон также уделяет внимание явлениям дифракции и двойного лучепреломления. Он описывает различные опыты и высказывает гипотезы по поводу этих явлений. Гипотезы имеют форму вопросов, касающихся природы света, строения материи,

<sup>1)</sup> Вавилов С. И. Исаак Ньютон. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1945, с. 53.

<sup>2)</sup> Там же.



эфира и т. п. Ньютон излагает различные, иногда прямо противоположные гипотезы. Он не объявляет себя сторонником той или иной гипотезы, однако одни из них ему явно по душе, другие — нет. При этом нетрудно понять, что Ньютон придерживается корпускулярной теории света и с ее точки зрения старается объяснить все оптические явления. Так, он пытается объяснить явление дифракции. «Не действуют ли тела на свет на расстоянии и не изгибают ли этим действием его лучей», — говорит Ньютон. Именно в таком духе объясняют явления дифракции после Ньютона (как явление, обусловленное силами, которые действуют между экранами и частицами света). Ньютон намечает и пути объяснения явления двойного лучепреломления, высказывая гипотезу о том, что лучи света обладают «различными сторонами» — особым свойством, обуславливающим их различную преломляемость при прохождении двойкопреломляющего тела. Это предположение Ньютона также было развито последователями корпускулярной теории света.