



О. Френель

1788—1827

О волновой оптике

После публикации работ Т. Юнга, в которых развивалась идея об интерференции света, в оптике установилось довольно странное положение. С одной стороны, волновые представления о свете продемонстрировали свою эффективность; процесс распространения света был осознан как явление, характеризующееся периодичностью. С другой стороны, корпускулярные представления сохраняли свои позиции — теория Юнга почти не нашла сторонников, поскольку не дала отчетливого объяснения прямолинейности распространения света. Кроме того, теория Юнга не смогла объяснить открытое в 1808 г. Малюсом явление поляризации света при отражении от диэлектриков и ряд других эффектов, связанных с поляризацией. Сторонникам корпускулярной теории казалось, что поляризационные эффекты можно объяснить на основе ньютоновской идеи об асимметрии световых частиц; они пытались это сделать, используя весьма изощренные математические средства. Математическая основа волновой теории была очень слабой. Большинство указанных недостатков элементарной волновой теории света было преодолено в работах О. Френеля.

Огюстен-Жан Френель родился 10 мая 1788 г. в местечке Брольи в Нормандии, в семье архитектора. Огюстен обладал слабым здоровьем и, по-видимому, поэтому не блистал поначалу успехами в учебе. Однако склонности мальчика определились довольно рано — уже в школе он предпочитал точные науки. Высшее образование он получил в парижской Политехнической школе, а затем в Школе мостов и дорог. После получения звания инженера Френель в течение ряда лет работал в провинции. Рутинная деятельность провинциального инженера, связанная с хозяйственными и административными хлопотами, не могла удовлетворить Френеля, еще в Политехнической школе обратившего на себя внимание математическими исследованиями. Но и этой работы Френель лишился в 1814 г. вследствие политических событий, связанных со Ста днями — временным возвращением Наполеона из ссылки. Однако такое осложнение в жизни Френеля неожиданно обернулось удачей для науки. Молодой инженер получил возможность заняться научными исследованиями. Для приложения своих сил он выбрал оптику.

В это время оптика находилась на подъеме. Вслед за открытием Малюсом поляризации света при отражении (1808) было обнаружено множество интересных (и красивых) оптических явлений, связанных с поляризацией, что еще острее поставило вопрос о природе света. Корпускулярная теория постепенно все усложнялась, поскольку для объяснения новых эффектов приходилось вносить в нее дополнительные усовершенствования.

Интересно, что, приступая к работе, Френель имел очень слабое представление об оптике. В конце 1814 г. он просил брата прислать из Парижа сочинения, из которых он смог бы составить представление о поляризации света. Уже через восемь месяцев он получил результаты, заставившие обратить на молодого исследователя внимание научного мира. Большую роль в становлении Френеля как оптика сыграл секретарь Академии, талантливый экспериментатор Ф. Д. Араго, ставший впоследствии соавтором Френеля при проведении некоторых экспериментов.

В самом начале творческого пути Френеля постигло сильное разочарование. Совершенно не зная о работах Юнга (Френель не знал английского языка), он заново «открыл» закон интерференции, добавив к опытам английского физика лишь несколько новых, среди которых — опыт с «бизеркалами Френеля». Но молодой ученый не пал духом и продолжил свои исследования. В одном из писем Френель писал: «Я довольно философски принял неприятности, пришедшие из Англии. Конечно, они оставили несколько горький осадок, но они не могут заставить меня потерять вкус к физике. Я почувствовал, что на упрек в плагиате нужно отвечать новыми открытиями».

Успех пришел довольно скоро. В начале 1817 г. Академия наук Франции объявила конкурс на лучшую работу по дифракции. Энтузиасты этого конкурса Ж. Б. Био и П.-С. Лаплас — сторонники корпускулярной теории — надеялись, что с ее позиций удастся объяснить опыты Юнга и Френеля. Под давлением Араго и Ампера Френель согласился принять участие в конкурсе и приступил к интенсивным исследованиям, в которых ему помог брат. В результате родилась теория дифракции, основанная на принципе Гюйгенса—Френеля. Ученому удалось, исходя из волновых представлений, объяснить прямолинейность распространения света, т. е. преодолеть главную трудность прежних вариантов волновой теории.

Широкую известность получила история с его мемуаром, представленным комиссии. Один из членов комиссии, С. Д. Пуассон, исходя из представлений теории, сделал не замеченный самим Френелем вывод, что в центре тени, образуемой круглым экраном, должно быть светлое пятно. Араго сразу же поставил эксперимент, который подтвердил справедливость этого предсказания. Волновая теория одержала большую победу.

Успех окрылил Френеля, и дальнейшие опытные исследования и математические расчеты привели его к целому ряду откры-

тий. Это прежде всего вывод о поперечности световых волн, который он сделал в результате совместных с Араго опытов по интерференции поляризованных лучей. Френель не спешил с публикацией открытия, пока не получил новые опытные подтверждения этой революционной идеи, приводящей к сложной модели упругого и твердого эфира. Араго оказался не в состоянии признать поперечность световых волн, и Френелю пришлось в одиночестве отстаивать свою точку зрения.

Предвосхищая многие идеи теории упругости, Френель смог благодаря своей физической интуиции дать теорию явлений отражения, преломления и полного внутреннего отражения, объяснить эмпирически найденные законы Малюса и Брюстера. Он выдвинул фундаментальные идеи в области кристаллоптики, не потерявшие своего значения и сегодня и получившие лишь более строгое математическое обоснование. Развитие Френелем идей о «частичном увлечении эфира» сыграло важную роль в электродинамике движущихся тел и позволило объяснить все эффекты первого порядка относительно $\beta = v/c$ (где v — скорость среды, c — скорость света).

Постепенно к Френелю приходит мировая слава. В 1823 г. он единогласно избирается в Парижскую Академию наук, в 1825 г. становится иностранным членом Лондонского Королевского общества, которое в знак выдающихся открытий в области оптики награждает ученого медалью Румфорда.

Напряженная исследовательская работа окончательно подрывает и без того слабое здоровье Френеля. Уже будучи сильно больным, ученый занимался усовершенствованием системы маячного освещения и добился большого успеха, создав так называемые ступенчатые линзы. Умер Френель 14 июля 1827 г.

Мемуар о дифракции света, удостоенный премии Академии наук

Применение принципа Гюйгенса к явлениям дифракции

43. После того как я указал способ определения результирующей некоторого числа систем световых волн¹, я покажу, как при помощи этих формул и применения одного только принципа Гюйгенса можно объяснить и даже рассчитать все явления дифракции. Этот принцип, который я считаю строгим следствием основной гипотезы², может быть изложен следующим образом. Колебания световой волны в каждой из ее точек могут рассматриваться как сумма элементарных движений, которые были бы посланы в тот же момент всеми действующими изолированно

частями этой волны, рассматриваемой в каком-либо из своих предыдущих положений*.

Из принципа сосуществования малых движений вытекает, что колебания, произведенные в какой-либо точке упругой жидкости при помощи нескольких возмущений, равны результирующей всех возмущений, отправленных в один и тот же момент в эту точку различными центрами колебаний, независимо от их числа, взаимных положений, природы и времени различных возмущений. Будучи общим, этот принцип должен применяться ко всем частным случаям. Я предположу, что все эти возмущения в бесконечном числе имеют один и тот же вид, происходят одновременно, расположены рядом друг с другом в той же плоскости или на одной и той же сферической поверхности. Я сделаю еще одну гипотезу, относящуюся к природе этих возмущений. Я предположу, что скорости, сообщенные частицами, все одинаковым образом направлены именно нормально к сферической поверхности** и, кроме того, пропорциональны сгущениям. Таким образом, частицы не могут иметь обратного движения³.

Этим же путем я мог бы образовать производную волну при помощи совокупности всех этих частичных возмущений. Следовательно, правильно говорить, что колебания световой волны в каждой из ее точек могут рассматриваться как результирующая всех элементарных движений, которые были бы отправлены в один и тот же момент всеми действующими изолированно частями этой волны, рассматриваемой в каком-либо из своих предыдущих положений.

44. Если считать интенсивность первоначальной волны неизменной, то из этого теоретического допущения, как из всех других, вытекает, что эта неизменность будет сохраняться во время ее прохождения, если только ни одна часть волны не будет перехвачена или задержана относительно соседних частей; ибо результирующая элементарных движений, о которых я только что говорил, будет одной и той же во всех точках. Но если одна часть волны задержана путем постановки на ее пути непрозрачного тела, тогда интенсивность в каждой точке будет изменяться

* Я рассматриваю всегда последовательность бесконечного числа волн или общее колебание жидкости. Только в том смысле можно сказать, что две световые волны взаимно уничтожаются, когда они отличаются одна от другой на половину длины волны. Формулы интерференции, которые я только что дал, совершенно неприменимы к случаю одной изолированной волны, которая, впрочем, и не встречается в действительности.

** Могут существовать производные волны, в которых направление абсолютных скоростей, сообщенных частицам, не будет нормальным к поверхности волны. Размышляя об особых законах интерференции поляризованных лучей, я убедился уже после редактирования этого мемуара, что световые колебания происходят перпендикулярно лучам или параллельно поверхности волны. Соображения и расчеты, содержащиеся в этом мемуаре, так же хорошо согласуются с этой новой гипотезой, как и с предыдущей, потому что они независимы от реального направления колебаний и предполагают лишь, что эти колебания происходят одинаковым образом у всех лучей, образованных одной и той же системой волн, которые совместно с другими участвуют в образовании каемок.

с ее расстоянием от края тени и эти изменения будут особенно заметны по соседству с касательными лучами.

Пусть C — световая точка, AG — непрозрачное тело, AME — волна, пришедшая в A и частично перехваченная телом [рис. 76]. Я предполагаю, что она разделена на бесконечное число маленьких дуг Am' , $m't$, tM , Mn , nn' , $n'n''$ и т. д. Для того чтобы получить интенсивность света в точке P , в каком-нибудь из следующих положений волны BPD необходимо искать результирующую всех элементарных волн, которые были бы посланы туда каждой из частей первоначальной волны, если бы эта часть действовала изолированно.

Так как импульс, который был сообщен всем частям первоначальной волны, имел направление нормали, то движения, которые эти части стремятся передать эфиру, должны быть более интенсивными в этом направлении, чем в каком-либо другом; и лучи, которые были бы оттуда испущены, если бы они действовали изолированно, были бы тем более слабыми, чем более они отклонялись бы от этого направления.

45. Изыскание закона, согласно которому интенсивность лучей варьирует около каждого центра возмущения, представляло бы, безусловно, большие трудности; но, к счастью, нет необходимости знать этот закон, так как легко видеть, что эффекты, вызванные лучами, уничтожаются почти полностью, как только лучи заметно отклоняются от нормали. Таким образом, те лучи, которые заметно влияют на количество света, получаемое каждой точкой, могут рассматриваться как лучи, обладающие равной интенсивностью*.

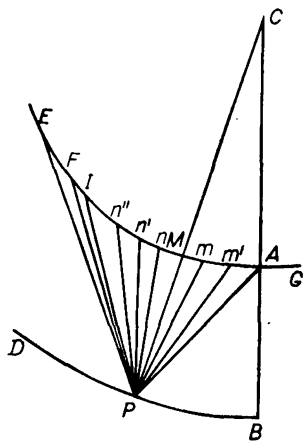


Рис. 76

* Когда центр возмущения испытал уплотнение, расширяющая сила стремится толкать молекулы во всех направлениях; и если они не имеют обратных движений, то это происходит только потому, что их начальные скорости, направленные вперед, уничтожают те скорости, которые расширение стремится придать им в обратном направлении. Но из этого не следует, что возмущение может распространяться лишь следуя направлению первоначальных скоростей, так как, например, расширяющая сила в перпендикулярном направлении комбинируется с первоначальным импульсом без того, чтобы эффекты этой силы были этим ослаблены. Ясно, что интенсивность произведенной таким образом волны должна значительно изменяться в различных точках ее окружности не только по причине первоначального импульса, но еще и потому, что уплотнения около центра возмущенной части не следуют одному и тому же закону. Изменения в интенсивности производной волны неизбежно должны подчиняться закону непрерывности и по этой причине могут рассматриваться как незначительные в очень малом угловом интервале, особенно вблизи от нормали, породившей их волны; ибо составляющие первоначальных скоростей частиц по какому-либо направлению пропорциональны косинусу угла, который это направление образует с нормалью. (...)

Действительно, рассмотрим значительно наклоненные лучи EP , FP , IP , сходящиеся в точке P , которую я предполагаю находящейся от фронта волны BD на расстоянии, равном большому числу волн. Возьмем две дуги EF и FI такой длины, что разности $EP - FP$ и $FP - IP$ равны половине длины волны. Вследствие большого наклона лучей и малости половины длины волны сравнительно с длиной лучей эти две дуги будут почти равны между собой и лучи, которые они посылают в точку P , приблизительно параллельны. Таким образом, вследствие различия на половину длины волны, которое существует между соответствующими лучами двух дуг, их действия взаимно уничтожаются.

Следовательно, можно предположить, что все лучи, отправляющие различные части первоначальной волны AE в точку P , обладают равной интенсивностью, потому что единственные лучи, для которых эта гипотеза была бы неточной, не имеют заметного влияния на количество света, получаемого этой точкой. Исходя из этого же соображения можно также для упрощения расчета результирующей всех этих элементарных волн рассматривать их колебательное движение как происходящее в одном и том же направлении, учитывая малую величину углов, которые лучи образуют друг с другом. Таким способом вся проблема оказывается сведенной к той, которую мы уже разрешили: найти результирующую какого-либо числа систем параллельных волн равной длины, интенсивности и относительные положения которых известны.

В данном случае интенсивности пропорциональны длине освещающих дуг и относительные положения даны значениями разностей пройденных путей.

46. Собственно говоря, мы рассматривали лишь сечение волны, образованное плоскостью, перпендикулярной спроецированному в точку A краю экрана. Рассмотрим теперь волну во всем ее протяжении, представив себе ее разделенной на бесконечно узкие лунки равноотстоящими меридианами, перпендикулярными плоскости рисунка [рис. 76]. К ним можно было бы приложить те же рассуждения, которые мы только что сделали для одного сечения волны, и показать, что лучи с заметным наклоном взаимно уничтожаются.

Эти параллельные краю непрозрачного экрана лунки распространены на большое протяжение для рассматриваемого нами случая, когда световая волна перехватывается только с одной стороны. Интенсивность результирующей всех колебаний, которые лунки направляют в точку P , будет той же самой для каждого из них; ибо лучи, испускаемые этими лунками, должны рассматриваться как имеющие равную интенсивность, по крайней мере для весьма ограниченного участка порождающей их волны, который имеет заметное влияние на свет, направленный в точку P . Интенсивности лучей должны считаться равными вследствие чрезвычайно малой разности между пройденными путями. Более того, каждая элементарная результирующая бу-

дет, очевидно, отставать на одну и ту же величину по отношению к лучу, исходящему из точки лунки, наиболее близкой к точке P , т. е. из точки, в которой эта лунка пересекается с плоскостью рисунка. Таким образом, интервалы между этими элементарными результирующими будут равны разностям путей, пройденных лучами AP , $m'P$, mP и т. д., находящимися в плоскости рисунка, и интенсивности этих элементарных результирующих будут пропорциональны дугам Am' , $m'm$, mM и т. д. Для того чтобы получить интенсивность общей результирующей, нужно, следовательно, произвести тот же самый подсчет, к которому мы пришли при рассмотрении только сечения волны плоскостью, перпендикулярной краю непрозрачного экрана*.

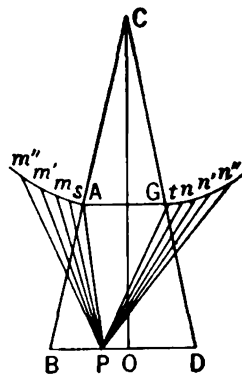


Рис. 77

47. Прежде чем вычислить аналитическое выражение этой результирующей, я сперва выведу из принципа Гюйгенса те следствия, которые можно из него вывести при помощи простых геометрических соображений.

Пусть AG — непрозрачное тело, достаточно узкое, чтобы можно было видеть полосы внутри его тени на расстоянии AB . Пусть C — точка, освещающая тело, BD — белый картон, где получают изображения каемок, или плоскость фокуса лупы, при помощи которой их наблюдают [рис. 77].

Предположим, что первоначальная волна разделена на маленькие дуги Am , mm' , $m'm''$, $m''m'''$, ..., Gn , nn' , $n'n''$, $n''n'''$, ... так, что лучи, проведенные из точки P , которую считают находящейся внутри тени, к точкам двух смежных делений, отличаются друг от друга на половину длины волны. Все маленькие волны, направляемые в точку P элементами каждой из этих дуг, будут в полном несовпадении с элементарными волнами, испускаемыми соответствующими частями двух дуг, между которыми заключена рассматриваемая дуга. Таким образом, если все эти дуги были бы равны, то лучи, направляемые ими в точку P , взаимно бы уничтожались, за исключением крайней дуги mA , лучи которой сохранили бы половину своей интенсивности, так как половина света, отправленного дугой mm' , с которой дуга mA находится в

* Поскольку край экрана прямолинеен, для определения положений темных и ярких полосок и их относительных интенсивностей достаточно рассмотреть сечение волны, образованное плоскостью, перпендикулярной краю экрана. Если же край экрана криволинеен или если он составлен из отрезков прямых, находящихся друг к другу под некоторыми углами, тогда необходимо интегрировать по двум перпендикулярным направлениям или по окружности около рассматриваемой точки. Этот последний метод более прост в нескольких частных случаях, например когда речь идет о вычислении интенсивности света в месте проекции центра какого-либо экрана или отверстия круглой формы.

полном несовпадении, уничтожается половиной света предыдущей дуги $m''m'$.

Эти дуги приблизительно равны, когда лучи, сходящиеся в точке P , достаточно наклонены относительно нормали. Тогда результирующая волна приблизительно соответствует середине mA единственной дуги, которая производит заметный эффект, и, таким образом, отличается на одну четверть длины волны от элементарной волны, исходящей от края A непрозрачного тела. То же самое справедливо относительно и другой части Gn падающей волны, причем степень совпадения или несовпадения между световыми колебаниями, которая проявляется в точке P , определяется разностью длин двух лучей sP и tP , исходящих из середины дуг Am и Gn , или, что сводится к тому же, разностью между двумя лучами AP и GP , исходящими от самых краев непрозрачного тела. Таким образом, если рассматриваемые внутренние каемки являются достаточно удаленными от краев геометрической тени, то можно без заметной ошибки применить к ним формулу, основанную на гипотезе, что центры дифрагирующих волн находятся на самых краях непрозрачного тела. Но по мере того, как точка P приближается к B , дуга Am становится все более значительной по сравнению с дугой mim' , дуга mm' — по сравнению с дугой $m'm''$ и т. д.; точно так же в дуге mA элементы, прилегающие к точке A , становятся заметно больше тех, которые расположены около точки m , соответствуя равным разностям пройденных путей.

Отсюда следует, что эффективный луч sP^* не должен уже более быть средним между крайними лучами mP и AP , но должен больше приближаться к длине этого последнего.

Наоборот, на другой стороне непрозрачного тела разность между лучом GP и эффективным лучом tP тем более приближается к одной четверти длины волны, чем более точка P удаляется от D . Таким образом, разность в пройденных путях изменяется более быстро между эффективными лучами sP и tP , чем между лучами AP и GP . Следовательно, каемки, которые находятся вблизи точки B , должны быть немного менее удалены от центра тени, чем это указывается формулой, основанной на первой гипотезе. <...>

Мемуар о действии, которое оказывают друг на друга лучи поляризованного света (совместно с Ф. Араго)

4. <...> Принцип интерференции показывает, что лучи, исходящие из двух световых фокусов, порожденных одним источником,

* После этих слов в рукописи добавлено: «Вариант, которым мы обязаны д-ру Юнгу».

образуют в точке встречи темные и яркие полосы, при этом нет необходимости пользоваться в опыте каким-либо непрозрачным телом.

Для разрешения вопроса было бы, таким образом, достаточно попробовать, не дали ли бы подобный результат два изображения, образованные путем помещения ромбоида из известкового шлата перед световой точкой. Поскольку, согласно теории двойного преломления, необыкновенный луч в углекислом кальции имеет большую скорость, чем обыкновенный, следовало до того, как осуществить встречу лучей, искусственно компенсировать этот излишек скорости. Для этого, основываясь на опыте г-на Араго, который был опубликован в *Анналах*, г-н Френель поместил на пути только необыкновенного пучка лучей стеклянную пластинку, толщина которой была определена расчетом таким образом, что, проходя через пластинку, при перпендикулярном падении этот пучок терял почти все то опережение по сравнению с обыкновенным пучком, которое он приобрел в кристалле; исходя из этого путем легкого наклона пластинки можно было получить полную компенсацию в указанном отношении. Несмотря на это, встреча двух пучков, поляризованных в противоположных направлениях, не вызывала образования каких-либо полос.

В другом опыте, чтобы компенсировать эффект разности скоростей двух лучей, г-н Френель заставлял оба луча падать на маленькое неамальгамированное стеклянное зеркало, толщина которого была рассчитана так, что необыкновенный луч, отражаясь перпендикулярно от второй стороны стекла, терял в скорости в результате своего двойного пути через стекло больше того, что он в ней выиграл, проходя через кристалл. Постепенное изменение наклона должно было в дальнейшем привести к полной компенсации. Несмотря на это, ни под каким углом падения обыкновенные лучи, отраженные первой поверхностью стекла, не образовывали заметных полос, смешиваясь с лучами (необыкновенными), отраженными второй поверхностью.

5. Г-ну Френелю удалось преодолеть недостаток, которым обладает предыдущий опыт, как опыт, основывающийся на теоретическом соображении, и, более того, сохранить у света всю его интенсивность при помощи следующего приема. Распилив пополам ромбоид исландского шлата, он поместил две половинки его, одну перед другой, так, чтобы главные сечения были перпендикулярны друг другу. При таком расположении обыкновенный пучок первого кристалла испытал необыкновенное преломление во втором кристалле; и обратно: пучок, который сначала распространялся по пути необыкновенного луча, преломлялся затем обыкновенным образом. Через этот аппарат было видно только двойное изображение световой точки. Каждый пучок последовательно испытывал два вида преломления. Суммы путей, пройденных каждым из них в обоих кристаллах вместе, должны были быть равными, поскольку, по предположению, оба эти кристалла

имели одну и ту же толщину. Таким образом, все, что относится к скоростям и к длине пройденных путей, оказывалось компенсированным. Несмотря на это, эти две системы поляризованных в противоположном смысле лучей⁴, интерферируя, не вызывали образования каких-либо сколько-нибудь заметных каемок. Добавим еще, что, опасаясь, что оба куска ромбоида, возможно, могли не иметь в точности той же самой толщины, мы считали нужным при производстве каждого опыта слегка и весьма медленно изменять угол, под которым падающие лучи встречались со вторым кристаллом.

6. Метод, который был, с другой стороны, разработан г-ном Араго для производства этого же самого опыта, был независим от двойного преломления. Уже давно известно, что если сделать в тонком листе две очень узкие щели, расположенные на небольшом расстоянии одна от другой, и осветить их светом из одной-единственной световой точки, то за этим листом образуются весьма яркие каемки, происходящие от того действия, которое оказывают лучи правой щели на лучи противоположной щели. Для того чтобы поляризовать в противоположных направлениях лучи, образуемые этими двумя отверстиями, г-н Араго хотел сначала использовать тонкий агат, распилить его посередине и поместить каждую половину перед одной из щелей, чтобы части агата, которые до того были смежными, оказались расположенными перпендикулярно друг другу. Это расположение должно было, очевидно, вызвать ожидаемый эффект, но, не имея в данное время под рукой подходящего агата, г-н Араго предложил заменить его двумя стопами из пластинок, придав им необходимую для успеха опыта тонкость путем составления их из листочков слюды.

Для этого мы выбрали пятнадцать таких листочков, по возможности наиболее чистых, и наложили их друг на друга. Затем при помощи острого инструмента эта стопа была разрезана пополам. Отсюда ясно, что обе полученные в результате рассеяния частичные стопы должны были иметь, с весьма большим приближением, ту же самую толщину, по крайней мере в тех частях, которые до этого соприкасались, даже если бы составляющие стопу пластинки были заметно призматическими. Эти стопы почти полностью поляризовали проходивший через них свет при угле падения 30° , считаемом от поверхности. Каждая из этих стоп была именно под этим углом помещена перед каждой из щелей в медном листике.

Когда обе плоскости падения были параллельны, т. е. когда обе стопы были наклонены в том же направлении (сверху вниз, например), четко были видны полосы, образованные интерференцией двух поляризованных пучков, совершенно такие же, как если бы заставляли действовать друг на друга два луча обычного света. Если же поворачивали одну из стоп около падающего луча, то обе плоскости падения становились перпендикулярными друг другу. Если, например, первая стопа оставалась

неизменно наклоненной сверху вниз, а вторая стопа была наклонена слева направо, то исходящие пучки, поляризованные при этом в противоположных направлениях, не образовывали больше в месте своей встречи никаких заметных полос.

Те предосторожности, которые были нами соблюдены для придания одинаковой толщины обеим стопам, повели к тому, что, помещая их перед щелями, мы обращали внимание на то, чтобы свет проходил через них в тех частях, которые до распиливания большой стопы соприкасались друг с другом. Впрочем, мы видели — и это обстоятельство устраняет все затруднения и возражения, которые можно было бы сделать в этом отношении, — что каемки появлялись, как обычно, когда лучи бывали поляризованы в одном и том же направлении. Тем не менее добавим, что медленное и постепенное изменение наклона одной из стоп никогда не вызывало появления полос в тех случаях, когда плоскости падения света были перпендикулярны друг другу. <...>

9. Вернемся теперь к аппарату из слюдяных стоп и предположим, что плоскости падения перпендикулярны, так что пучки света, прошедшие через обе щели, будут поляризованы во взаимно перпендикулярных направлениях. Поместим между медным листом и глазом двоякопреломляющий кристалл, главное сечение которого образует угол 45° с плоскостями падения. Согласно известным законам двойного преломления, каждый из лучей, прошедших через слюдяные стопы, разделится в кристалле на два луча одинаковой интенсивности, поляризованные в двух перпендикулярных направлениях, одно из которых является направлением главного сечения.

Следовательно, в этом опыте можно было бы ожидать увидеть ряд каемок, образованных действием обыкновенного светового пучка справа на обыкновенный световой пучок слева, и второй, совершенно подобный ряд каемок, происшедших от интерференции двух необыкновенных пучков. Тем не менее не обнаруживается ни малейшего следа этих каемок, и все четыре световых пучка, встречаясь, дают только непрерывную полосу света*.

Этот опыт, идея которого принадлежит г-ну Араго, доказал нам, что два луча, которые были первоначально поляризованы в противоположных направлениях, могут быть затем приведены к одной и той же плоскости поляризации, не приобретая, однако, в результате этого способности влиять друг на друга. <...>

* Если бы пластинка, помещенная между медным листом и глазом, была тонкой и мало разделяла изображения, можно было бы объяснить отсутствие полос, предполагая, что те, которые являются результатом интерференции обыкновенных пучков, накладываются на другие, если еще допустить, что яркие полосы первой системы соответствуют темным полосам второй системы и обратно.

Но недостаточность такой гипотезы для объяснения явления доказывается помещением ромбоида известкового шпата между глазом и указанным выше кристаллом. При известных положениях этот ромбоид должен был бы разделять две системы полос, так как они поляризованы в противоположных направлениях, однако, делая именно это, нельзя заметить даже следов каких-либо полос.

10. <...> Опыты, которые мы только что описали, в конце концов приводят к таким следствиям.

1. В тех же условиях, в которых два луча обыкновенного света кажутся взаимно уничтожающими, два луча, *поляризованные в противоположных направлениях*, не оказывают друг на друга никакого заметного действия.

2. Лучи света, поляризованные в одном направлении, действуют друг на друга, как естественные лучи. Таким образом, для этих двух видов света явления интерференции являются абсолютно одинаковыми.

3. Два луча, *первоначально поляризованных в противоположных направлениях*, могут быть затем возвращены к одной плоскости поляризации, *не приобретая, несмотря на это, способности действовать друг на друга*.

4. Два луча, поляризованных в противоположных направлениях и возвращенных затем к одинаковым поляризациям, действуют друг на друга, как и естественные лучи, если они происходят от светового пучка, который первоначально был поляризован в одном-единственном направлении.

5. В явлениях интерференции, образованных лучами, испытывавшими двойное преломление, место каемок определяется не только разностью путей и разностью скоростей; при некоторых обстоятельствах, которые нами были указаны, необходимо, кроме того, учитывать разность в половину длины волны. <...>

Комментарий

Перевод с французского работ О. Френеля выполнен З. А. Цейтлиным. Отрывки из работ воспроизводятся по изданию: Френель О. Избранные труды по оптике. М., 1955.

¹ Этот способ изложен в § 35—42 данного мемуара.
² Речь идет о волновой гипотезе.

³ Отсутствие обратной волны не обосновано Френелем достаточно строго; позднее это сделал Г. Кирхгоф.

⁴ Выражения «лучи, поляризованные в одном и том же смысле» или «в противоположном смысле» введены Малюсом и означают совпадение или взаимную перпендикулярность плоскостей поляризации.

Литература

- [1] Собрание сочинений О. Френеля: *Oeuvres complètes d'Augustin Fresnel*. Publ. par H. de Senarmont, E. Verdet et L. Fresnel. В 3 т. Paris, 1866—1870.
- [2] Boutry G. A. Augustin Fresnel: his time, life and work, 1788—1827. London, 1949.
- [3] Ландсберг Г. С. Огюстен Френель. Очерк жизни и деятельности. — В кн.: Френель О. Избранные труды по оптике. М., 1955, с. 7—69.
- [4] Верде Э. Труды Огюстена Френеля. — В кн.: Творцы физической оптики. М., 1973, с. 180—206.
-

Голин Г. М., Филонович С. Р.

Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.): Справ. пособие. — М.: Высш. шк., 1989. — 576 с.: ил. ISBN 5-06-000058-3