



Т. Юнг

1773—1829

Об интерференции света и ее проявлениях

Физическая оптика развивалась очень неравномерно. После плодотворного периода конца XVII в., ознаменовавшегося открытием интерференционных и дифракционных эффектов, установлением сложного состава белого света, доказательством конечности скорости распространения света, выдвижением двух основных гипотез — волновой и корпускулярной — о природе света, в XVIII в. в оптических исследованиях наступил спад. Хотя в этот период было открыто явление абберации света, разработаны основы фотометрии и создан первый ахроматический рефрактор, продвижение в развитии представлений о природе света не наблюдалось. Выступления отдельных ученых (Л. Эйлер, М. В. Ломоносов) в защиту волновых представлений о свете не имели успеха, и подавляющее большинство ученых придерживалось корпускулярной концепции.

Начало коренных изменений в оптических исследованиях относится к первым годам XIX в., когда английский ученый Т. Юнг опубликовал ряд работ, в которых был сформулирован закон интерференции и даны примеры его применения для объяснения множества оптических явлений.

Томас Юнг родился 13 июня 1773 г. в Милвертоне (графство Сомерсет, Англия) в семье торговца тканями. Он был старшим сыном в большой семье, принадлежавшей к религиозной общине квакеров. Воспитывавшийся в строгих правилах этой секты Юнг очень рано проявил редкие способности: в возрасте двух лет он научился читать, а в шесть лет начал изучать латынь. Хотя родители направляли мальчика для обучения в различные учебные заведения, основные знания Юнг приобрел самостоятельно — с ранних лет он относился к самообразованию как к важнейшему способу совершенствования в науках. В девятнадцать лет Юнг уже владел многими иностранными языками и считался знатоком греческого и латыни.

С 1792 по 1803 г. Юнг изучал медицину в Лондоне, Эдинбурге, Геттингене и, наконец, в Кембридже. Еще в первые годы учебы он подготовил интересную научную работу, в которой доказал, что аккомодация глаза обусловлена изменением формы хруста-

лика. За эту работу в 1794 г. он был избран членом Лондонского Королевского общества. Во время пребывания в Кембридже Юнг занялся исследованием акустических и оптических явлений (интерес к акустике был связан с любовью к музыке — Юнг играл практически на всех музыкальных инструментах того времени). Аналогия между многими явлениями акустики и оптики убедила его в справедливости волновых представлений о свете. В 1801 г. Юнг сформулировал принцип интерференции, эффективность которого была продемонстрирована им в ряде работ 1801—1803 гг. Итоги этого этапа изучения свойств света были подведены Юнгом в фундаментальном «Курсе лекций по натуральной философии», два тома которого были изданы в 1807 г. Этот курс, подготовленный на основе лекций, читавшихся Юнгом в 1802—1803 г., когда он занимал пост профессора Королевского института, содержал огромный научный материал. В него были включены как обзоры важнейших работ по механике, физике и астрономии других авторов, так и оригинальные результаты, полученные самим Юнгом. В частности, в «Курсе» впервые был введен термин «энергия» и рассматривался модуль упругости, получивший затем название «модуля Юнга».

После издания «Курса лекций» Юнг перешел к исследованиям в области медицины, результаты которых он изложил в большом сочинении «Введение в медицинскую литературу». Разнообразие интересов и занятий Юнга не может не поражать. Не получив признания как практикующий врач, Юнг обращается к изучению египетских иероглифов, получив при этом важные результаты. Одновременно он исполняет обязанности секретаря Лондонского Королевского общества по зарубежным связям, а также является секретарем Комиссии долгот и издателем «Морского альманаха» — справочника по практической астрономии. Кроме того, он ведет большую литературную работу: для Приложения к *Encyclopaedia Britannica* он подготовил более 40 биографических очерков ученых-естественников и филологов, целый ряд фундаментальных статей, оставивших заметный след в истории науки. Всей своей жизнью (Юнг умер 10 мая 1829 г.) ученый оправдал прозвище «феноменальный», данное ему в годы учебы в Кембриджском университете.

После 1807 г., на протяжении всей жизни, Юнг продолжал интересоваться вопросами оптики. Этот интерес стимулировался как важными экспериментальными открытиями, относящимися к поляризационным явлениям (1810—1815), так и появлением работ выдающегося французского ученого О. Френеля (1815—1823). Юнг был активным пропагандистом идей Френеля, состоял с ним в переписке и переводил его работы на английский язык. Отметим, что в некоторых вопросах Юнг предвосхитил точные доказательства Френеля. Так, в 1817 г. в письме, адресованном Араго, Юнг высказал предположение, что явления поляризации могут быть связаны с поперечной компонентой

световых волн. Хотя в целом по глубине и разработанности теория световых волн Френеля значительно превосходит представления Юнга, волновая оптика с полным основанием называется «оптикой Юнга — Френеля».

О теории света и цветов

Хотя изобретение правдоподобных гипотез, независимых от каких-либо экспериментальных наблюдений, может принести очень мало пользы для развития естествознания, тем не менее открытие простых и единых принципов, с помощью которых большое число явно разнородных явлений сводятся к согласованным и универсальным законам, должно всегда считаться имеющим большое значение для усовершенствования человеческого разума; и чем больше и больше явлений оказываются согласующимися с принципами, заложенными в основу, тем более эти принципы могут претендовать на замену звания «гипотеза» званием «фундаментальный закон природы».

Цель сегодняшнего доклада не столько выдвижение каких-либо абсолютно новых мнений, сколько обращение к ряду предложенных ранее теорий и к их непосредственным создателям, чтобы подкрепить эти теории дополнительными доказательствами и применить эти теории к большому числу разнообразных фактов, которые раньше были погружены в темноту. В этой связи не было абсолютно никакой необходимости проводить хотя бы один новый опыт, поскольку набралось уже большое количество экспериментов в высшей степени превосходных, поскольку они должны были проводиться без малейшей приверженности их авторов к системе, с помощью которой они будут объяснены. Тем не менее здесь будет изложен ряд фактов, ранее не наблюдавшихся, с тем чтобы показать полное согласие упомянутой системы с разнообразными явлениями природы, которые с ней связаны. <...>

Гипотеза I. Вселенную наполняет светоносный эфир малой плотности и в высшей степени упругий. <...>

Гипотеза II. Волнообразные движения возбуждаются в этом эфире всякий раз, как тело становится светящимся.

Комментарий. Я использую термин «волнообразное движение» (undulation), отдавая ему предпочтение перед словом «колебание» (vibration), потому что колебание обычно понимается как движение, происходящее попеременно то вперед, то назад вследствие сложения импульса тела и ускоряющей силы, которое, естественно, более или менее непрерывно. Волнообразное же движение предполагается состоящим из колебательного движения, последовательно распространяющегося через различные части среды без всякого стремления каждой частицы продолжать свое движение, кроме как в связи с передачей следующих друг за другом волнообразных движений от явно колеблю-

щегося тела. Так в воздухе вибрирующая струна создает волнообразные движения, представляющие звук. <...>

Гипотеза III. *Ощущение различных цветов зависит от различной частоты колебаний, возбуждаемых светом в сетчатке.* <...>

Предложение VIII. Когда два волнообразных движения от разных источников либо точно совпадают, либо очень близки по направлению, их общее действие состоит в комбинации движений, принадлежащих каждому из них.

Поскольку каждая частица среды подвержена действию каждого волнообразного движения, где бы ни совпадали их направления, волнообразные движения могут распространяться не иначе как объединяя свои движения, так что объединенное движение может быть либо суммой, либо разностью отдельных движений в соответствии с тем, сходные или несходные части волнообразных движений совпадают.

Я уже раньше¹ настаивал на широком применении этого принципа к гармоникам [звука], однако далее выяснится, что он еще более полезен для объяснения явлений цветов. Волнообразные движения, которые теперь нужно сравнить, имеют равные частоты. Когда два ряда в некий момент времени точно совпадают, то очевидно, что общая скорость движений частицы должна быть наибольшей. Ясно также, что она должна быть наименьшей и, если волнообразные движения равны по силе, полностью исчезать, когда момент наибольшего прямого движения, принадлежащего одному волнообразному движению, совпадает с моментом наибольшего обратного движения, принадлежащего второму. В промежуточном состоянии объединенное волнообразное движение будет обладать промежуточной силой; однако то, по каким законам должна изменяться эта промежуточная сила, нельзя определить без дополнительных данных. Хорошо известно, что в области звука сходные причины вызывают явление, называемое биениями. Два ряда волнообразных движений почти равной величины попеременно то объединяются, то уничтожают друг друга в зависимости от того, когда они более или менее точно совпадают по времени совершения соответствующих движений.

Следствие I. *О цветах бороздчатых поверхностей.* Бойль, по-видимому, был первым, кто наблюдал цвета царапин на полированных поверхностях. Ньютон их не заметил. Мазеас и м-р Брум провели на эту тему несколько экспериментов, однако не получили каких-либо удовлетворительных выводов. Между тем все разнообразие этих цветов очень просто выводится из этого предложения.

Пусть в данной плоскости имеются две отражающие точки, очень близкие друг к другу, и пусть плоскость расположена так, что отраженное изображение светящегося предмета, видимое в ней, окажется совпадающим с этими точками. Тогда очевидно, что длины падающего и отраженного лучей, взятые вместе, равны по отношению к двум точкам, если считать эти

лучи способными к отражению во всех направлениях. Пусть теперь одна из точек опустилась ниже данной плоскости; тогда полный путь света, отраженного от нее, будет удлинен на величину, которая равна понижению точки, умноженному на удвоенный косинус угла падения [рис. 72].

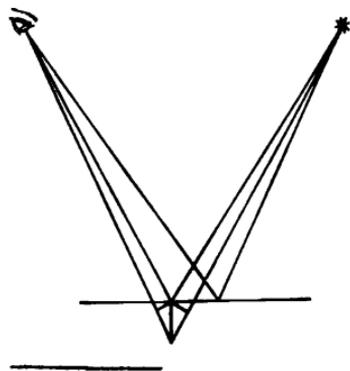


Рис. 72

Теперь, если равные волнообразные движения данных размеров заставить отразиться от двух точек, расположенных достаточно близко для того, чтобы казаться глазу одной точкой, то если только эта линия равна половине ширины полного волнообразного движения², то отражение от пониженной точки будет так интерферировать с отражением от фиксированной точки, что поступательное движение одного будет совпадать с возвратным движением другого и оба они будут уничтожены. Когда же эта линия равна полной ширине волнообразного движения, эффект будет удвоен; а когда она будет равна полутора ширинам, то движения снова уничтожатся, и так далее для значительного числа изменений. Если же отраженные волнообразные движения будут разных типов³, то они будут действовать друг на друга по-разному в зависимости от их отношения к различным длинам той линии, которая является разностью их двух путей и которая может быть названа интервалом запаздывания.

Для того чтобы эффект был более ощутимым, ряд пар точек нужно объединить в две параллельные линии; если поместить несколько таких пар линий рядом друг с другом, то они облегчат наблюдение. Если одну такую линию заставить поворачиваться вокруг другой как вокруг оси, то понижение относительно данной плоскости будет равно синусу угла наклона; и поскольку глаз и светящийся объект остаются фиксированными, разность длин путей будет меняться как этот синус.

Наилучшими объектами для экспериментов⁴ являются превосходные микрометры м-ра Ковентри; наиболее удобны те из них, которые состоят из параллельных линий, проведенных на стекле на расстоянии одной пятисотой дюйма друг от друга. Каждая из этих линий при рассмотрении в микроскоп оказывается состоящей из двух или более тонких линий, в точности параллельных, расположенных на расстоянии, несколько большем, чем одна двадцатая расстояния между смежными линиями. Я расположил один из таких микрометров так, чтобы он отражал солнечный свет под углом 45° , и зафиксировал микрометр таким образом, что, когда он вращался вокруг одной из линий как вокруг оси, я мог измерять угловое движение, и я обнаружил, что наиболее яркий красный свет получается при наклоне в $10^{1/4}^\circ$, $20^{3/4}^\circ$, 32° и 45° , синусы которых относятся как числа 1, 2, 3 и 4.

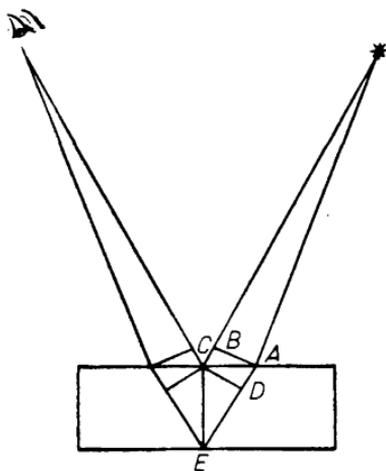


Рис. 73

При всех других углах, когда солнечный свет отражался от поверхности, этот цвет пропадал при изменении наклона и был одним и тем же при равных наклонах в любую сторону.

Этот эксперимент дает очень сильное подтверждение теории. Невозможно вывести никакое его объяснение из предлагавшихся до сих пор гипотез; и я уверен, что трудно будет изобрести какую-нибудь новую гипотезу, объясняющую его. Существует впечатляющая аналогия между разделением цветов и получением музыкальной ноты с помощью последовательных отражений от эквидистантных железных стержней, что, как я обнаружил,

прекрасно согласуется с известной скоростью звука и расстояниями между поверхностями.

Не представляется невероятным, что цвета покровов некоторых насекомых и некоторых других естественных тел, дающих при различном освещении красивейшее разнообразие, могут иметь такое происхождение, а не получаться из тонких пластин. В некоторых случаях одна царапина или бороздка может создавать сходные эффекты из-за отражений от ее противоположных краев.

Следствие II. О цветах тонких пластин. Когда поток света падает на две параллельные преломляющие поверхности, частичные отражения точно совпадают по направлению; в этом случае интервал запаздывания, взятый между поверхностями, так относится к их пути, как удвоенный косинус угла преломления к единице. Так, рисуя AB и CD перпендикулярно лучам [рис. 73], мы получаем, что времена прохождения BC и AD равны, а DE будет составлять половину интервала запаздывания; но DE относится к CE как синус DCE к единице. Следовательно, для того чтобы DE оставалось постоянным или чтобы один и тот же цвет мог отражаться, толщина CE должна меняться как секанс угла преломления CED , что точно согласуется с экспериментами Ньютона, поскольку исправления, которые он ввел, совершенно незначительны.

Пусть среда между поверхностями будет более разреженной, чем окружающие среды. Тогда импульс, отраженный от второй поверхности, встречая последующее волнообразное движение на первой поверхности, будет придавать способность частицам более разреженной среды полностью останавливать движение более плотной и уничтожать отражение (предложение IV)⁵, в то время как они сами будут испытывать более сильное возбуждение к движению, чем если бы они находились в покое, и количество прошедшего света будет увеличено. Таким образом, цвета,

создаваемые отражением, будут уничтожаться, а цвета, создаваемые при прохождении, станут более яркими, когда удвоенная толщина, или интервал запаздывания, оказывается кратной полной ширине волнообразного движения, а при промежуточных толщинах эффект будет обратным в соответствии с наблюдениями Ньютона.

Если окажется, что такие же отношения хорошо выполняются по отношению к тонким пластинам более плотной среды, что, вообще говоря, не кажется невероятным, то необходимо будет принять исправленное доказательство Предложения IV. Однако в любом случае если тонкая пластина будет помещена между менее плотной и более плотной средами, то можно ожидать, что цвета, создаваемые при отражении и прохождении, поменяются местами.

Из ньютоновских измерений толщин, отражающих различные цвета, можно очень точно определить ширину и продолжительность соответствующих им волнообразных движений. Оказывается, что весь видимый спектр укладывается в отношение трех к пяти. Волнообразные движения красного, желтого и синего цветов должны быть связаны по величине как числа 8, 7 и 6, так что интервал от красного до голубого составляет одну четверть. (...) Абсолютная длина и частота каждого колебания представлена в таблице. Предполагается, что свет проходит 500 000 000 000 футов за $8\frac{1}{8}$ мин. (...)

Цвета	Длина волнообразного движения в воздухе, доли дюйма	Число волнообразных движений в одном дюйме	Число колебаний в секунду
Крайний Красный	0,0000266	37 640	463 миллиона миллионов
Промежуточный	0,0000256	39 180	482
Оранжевый	0,0000246	40 720	501
Промежуточный	0,0000240	41 610	512
Желтый	0,0000235	42 510	523
Промежуточный	0,0000227	44 000	542
Зеленый	0,0000219	45 600	561 (= 2^{18} приближенно)
Промежуточный	0,0000211	47 460	584
Синий	0,0000203	49 320	607
Промежуточный	0,0000196	51 110	629
Индиго	0,0000189	52 910	652
Промежуточный	0,0000185	54 070	665
Фиолетовый	0,0000181	55 240	680
Крайний	0,0000174	57 490	707
Среднее по всем цветам, или белый	0,0000167	58 750	735
	0,0000225	44 440	547

Курс лекций по натуральной философии и механическим ремеслам

Лекция XXXIX

О природе света и цветов

(...) Если предположить, что свет любого данного цвета состоит из волнообразных движений данной ширины или данной частоты, то эти волнообразные движения должны подчиняться закономерностям, уже исследованным нами для волн на воде и пульсаций звука. Было показано, что для двух равных рядов волн, происходящих из центров, расположенных поблизости один от другого, можно видеть, как в определенных точках они разрушают действия друг друга, а в других точках — удваивают их. На основе сходного взаимодействия были объяснены и биения двух звуков. Теперь мы применим те же принципы к чередующимся соединению и гашению цветов [рис. 74].

Дабы действия двух частей света могли складываться таким образом, необходимо, чтобы эти части исходили из одного источника и достигали одной и той же точки разными путями, но по направлениям, не слишком отличающимся между собой. Эти различия [в путях] могут создаваться либо в одной, либо в обеих частях [света] с помощью дифракции, отражения, преломления или посредством комбинации этих эффектов. Однако простейшим, по-видимому, является случай, когда пучок однородного света падает на экран⁶, имеющий два очень маленьких отверстия или две щели, которые могут рассматриваться как центры расхождения, откуда свет идет во всех направлениях. В этом случае, когда два вновь образованных пучка воспринимаются на поверхности, расположенной так, чтобы пересекать их, свет пучков разделяется темными полосами на части приблизительно равные, но которые становятся шире, когда поверхность удаляется от отверстий, как будто на всех расстояниях от отверстий они стягивают очень близкие по величине углы, и эти части становятся шире в той же пропорции, в какой отверстия располагаются ближе друг к другу. Середина двух частей всегда светлая, и яркие полосы с каждой из сторон находятся на таких расстояниях, что свет, приходящий к ним от одного из отверстий, должен пройти больший путь, чем свет, приходящий от другого, на отрезок, который равен ширине одного, двух, трех или большего числа предполагаемых волнообразных движений, в то время как промежуточные темные области соответствуют разности в половину [ширины] предполагаемых волнообразных движений, в полтора, два с половиной волнообразных движения или более.

Из сравнения различных экспериментов представляется, что ширина волнообразных движений, составляющих крайний красный свет, должна считаться равной в воздухе около одной 36-ты-

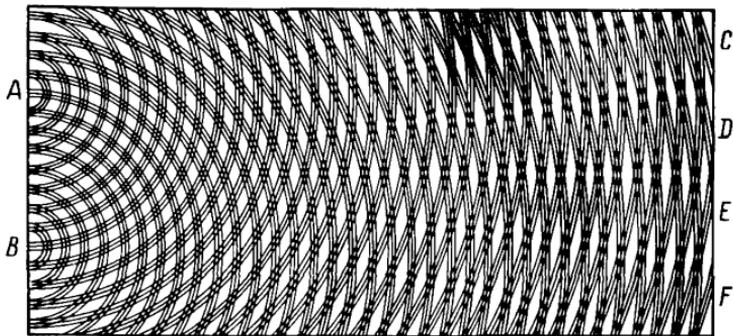


Рис. 74

сячной дюйма, а волнообразных движений, составляющих крайний фиолетовый свет, — около одной 60-тысячной; средняя [ширина] по всему спектру с учетом интенсивности света равна примерно одной 45-тысячной [дюйма]. Из этих величин следует, если вести расчет по известной скорости света, что за одну секунду в глаз должны попадать почти 500 миллионов миллионов самых медленных из таких колебаний. Комбинация двух частей белого, или смешанного, света, когда она рассматривается на большом расстоянии, дает несколько белых и черных полос, соответствующих этому интервалу. При более внимательном рассмотрении оказывается, что складываются вместе отчетливые эффекты бесконечного числа полос различной ширины, так что создается красивое разнообразие оттенков, постепенно переходящих один в другой. Центральная белизна сначала сменяется желтизной, а затем темно-желтым цветом, за которым следует темно-красный, синий и голубой, которые оба кажутся, если смотреть с большого расстояния, темной полосой. Затем появляется зеленый цвет и за ним — темная область, имеющая темно-красный оттенок. Следующие светлые области все более или менее зеленоватые, а темные — пурпурные и красноватые. Красный цвет, по-видимому, настолько доминирует во всех этих эффектах, что красные или пурпурные полосы занимают почти

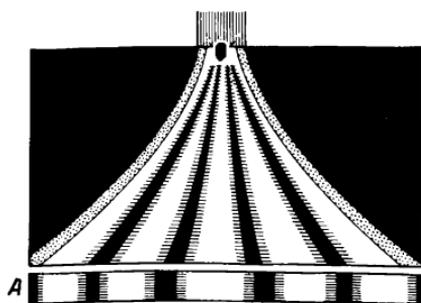


Рис. 75



то же место в смешанных полосах, как если бы их свет воспринимался отдельно.

Сравнение результатов этой теории с данными экспериментов полностью устанавливает их общее совпадение; оно, однако, указывает на небольшие поправки в части измерений, вызванные какой-то неизвестной причиной, возможно, связанной с внутренней природой дифракции, которая постоянно заставляет части света, проходящие в направлении, очень близком к прямолинейному, делиться на полосы или зоны, немного более широкие, чем внешние полосы, образованные светом, изгибающимся сильнее [рис. 75]. <...>

Комментарий

Перевод с английского отрывков из работ Т. Юнга выполнен С. Р. Филоновичем. Первый отрывок взят из работы: *On the theory of light and colours* (Bakerian lecture, 1801), «Philosophical Transactions», 1802, vol. 92, Pt. 1, p. 12—48.

Второй отрывок взят из издания: *Young T. A course of lectures on natural philosophy and mechanical arts*. London, 1807, vol. 1.

- ¹ Речь идет о работе Юнга «Очерк экспериментов и исследований относительно звука и света».
- ² Половина ширины волнообразного движения в современной терминологии — это половина длины волны ($\lambda/2$), полная ширина — λ .
- ³ Т. е. разных длин волн.
- ⁴ Далее по существу следует описание результатов опытов с дифракционной решеткой.
- ⁵ Предложение IV гласит: когда волнообразное движение доходит до поверхности, которая является границей сред с различными плотностями, имеет место частичное отражение, по силе пропорциональное разности этих плотностей.
- ⁶ Отметим, что у Юнга ничего не говорится о способе формирования пучка света, падающего на две щели. Ясно, что без узкой щели — источника — невозможно добиться высокой пространственной когерентности излучения, необходимой для наблюдения интерференционной картины. Это дало основание некоторым историкам науки предположить, что Юнг лишь «придумал» опыт, но сам его не проводил; другие историки считают, что это предположение вряд ли справедливо (см. [3, p. 138]).

Литература

- [1] Собрание сочинений Т. Юнга: *Miscellaneous Works of the Late Thomas Young*. Ed. by G. Peacock and J. Leitch. Vols. 1—3. London, 1855.
 - [2] Wood A. *Thomas Young, Natural Philosopher, 1773—1829*. Cambridge, 1954.
 - [3] Cantor G. *Optics after Newton. Theories of light in Britain and Ireland, 1704—1840*. Manchester, 1983.
 - [4] Кляус Е. М. Томас Юнг. — В кн.: *Творцы физического оптики*. М., 1973, с. 122—159.
-

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