

Л. И. МАНДЕЛЬШТАМ

ОПТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НЬЮТОНА *

Среди бессмертных творений Ньютона его оптические исследования занимают важное и почетное место.

Его открытия лежат в основе всех наших знаний по оптике; их дальнейшее развитие дало не только физикам, но и астрономам, и химикам мощное орудие для познания природы. Именно в оптических работах он проявил себя, как гениальный экспериментатор.

Заложенные в них принципы физического исследования остались руководящими и по сегодняшний день. Оптические работы принесли Ньютону его первую славу, им он обязан своим избранием в члены Лондонского Королевского Общества — английской Академии Наук. Если к этому прибавить, что теоретические воззрения Ньютона на оптические явления оказывали громадное, хотя, может быть и не всегда благотворное влияние на все развитие оптики в течение ста лет после его смерти, то вряд ли есть необходимость в дальнейшей мотивировке выбора темы моего сегодняшнего доклада — «Оптические работы Ньютона».

Позвольте мне начать несколько издалека. В 1661 г. девятнадцатилетний Ньютон был принят в Кембриджский университет. Подготовку к университетским занятиям Ньютон получил в Королевской школе в Грэнтэме, небольшом городке в графстве Линкольн, по соседству с его родной деревней. Здесь он пробыл, в общей сложности, пять лет. Биографы Ньютона подчеркивают то обстоятельство, что Ньютон уже мальчиком отличался замкнутостью и любовью к уединению — черты характера, которые не оставляли его всю жизнь. Директор школы Стокс прозорливо оценил замечательные способности своего ученика. Когда мать Ньютона после трехлетнего пребывания сына в школе взяла его домой для того, чтобы он помогал ей в хозяйстве, Стокс, по сообщению Стекеля, близкого знакомого семьи Ньютона, сказал ей, что «было бы большой потерей для мира и, кроме того, тщетным начинанием похоронить такой многообещающий гений, заставив его работать по сельскому хозяйству, что столь противоречит его темпераменту», и добился того, что молодой Ньютон вернулся в школу.

Научная атмосфера в Кембридже не была благоприятна для изучения естественных наук. Мощное движение научного возрождения почти не коснулось университетского преподавания. Еще сильно было влияние схоластики Аристотеля. Астрология и другие предрассудки еще были живы. Библиотека была в жалком состоянии. О чем-либо, подобном нашим лабораториям, не было, конечно, и речи. Но молодому Ньютону посчастливилось. В начале 1663 г. была основана в Кембриджском университете неким Люкасом кафедра, которой суждено было сделаться одной из самых знаменитых физико-математических кафедр

* Доклад, прочитанный на Общем собрании академиков в Боровом 16 января 1943 г.

мира. Она существует и сейчас. Ее занимает один из талантливейших молодых физиков теориков современности — Дирак.

В качестве первого профессора на Люкасовскую кафедру был приглашен Исаак Барроу. Барроу был энциклопедистом: путешественник, переживший не одно приключение, выдающийся богослов, выдающийся математик, астроном и физик. Если вообще можно говорить о духовном отцовстве по отношению к Ньютону, то эта честь должна принадлежать Барроу. Под его непосредственным руководством Ньютон углубленно изучал математику, одновременно и астрономию, и оптику. Лекции по оптике читал сам Барроу. Мы знаем, что Ньютон изучал также трактат о свете Кеплера и диоптрику Декарта. Кроме физико-математических наук Ньютон вынес из университета основательное знание латинского языка; он изучал также греческий и, повидимому, знал и древнееврейский алфавит. Ни немецким, ни французским языками Ньютон не владел.

Через $3\frac{1}{2}$ года после поступления Ньютон кончает университет со степенью бакалавра. К этому времени, как-то внезапно (во всяком случае для постороннего наблюдателя), его замечательный гений развернулся во всю ширь. Косвенно этому способствовало одно внешнее обстоятельство. В годы 1664—1666 в Англии свирепствовала страшная эпидемия чумы, унесшая в 1665 г. в одном Лондоне свыше 31 000 жизней. Кто мог, бежал из городов. Около двух лет Ньютон почти безвыездно прожил в своей родной деревне. Здесь он нашел то уединение и спокойствие, в которых он всегда нуждался во времена творческого подъема. Здесь, если верить биографам, зародились те три великих открытия, которые обессмертили его имя. Я имею в виду: метод флюксий (основы дифференциального и интегрального исчисления), закон всемирного тяготения и открытие, относящееся к природе света и спектральным цветам. Конечно, окончательное оформление эти открытия получили позже, и еще позже они стали достоянием ученых.

К своему фундаментальному оптическому открытию Ньютон пришел не сразу. Первая оптическая проблема, которая привлекла его внимание, была проблема усовершенствования телескопа.

После того как изобретенный в конце XVI в. телескоп в руках Галилея привел к таким замечательным открытиям, как открытие спутников Юпитера, строения млечного пути, фаз Венеры, солнечных пятен и т. д., естественно было стремление ученых строить все более мощные телескопы и тем расчистить путь к новым открытиям.

Усовершенствованием телескопа занимались почти все великие физики и астрономы того времени: Галилей, Декарт, Гюйгенс, Гук и другие. При этом они отдавали свои силы не только разработке физических основ, но и собственноручно шлифовали объективы, занимались возникающими здесь механическими вопросами и т. д.

Скоро выяснилось, что на пути усовершенствования телескопа стоят большие препятствия. По мере роста увеличения, изображение, даваемое объективом, делалось нечетким, расплывчатым, что чрезвычайно затрудняло наблюдения. Чисто опытно было установлено, что этот недостаток можно уменьшить, если одновременно с увеличением диаметра объектива увеличивать его фокусное расстояние, что было равносильно увеличению размеров всего инструмента. И действительно, в эпоху Ньютона телескопы достигали громадных размеров. Есть, например, указания, что в одном из инструментов Гюйгенса расстояние между объективом и окуляром достигало 210 футов, т. е. около 65 метров. Естественно, что на этом пути дальнейшее усовершенствование телескопа было невозможно.

Ньютон, повидимому, первый вполне ясно увидел, что наряду с известными причинами, искажающими изображение, как, например,

сферическая aberrация, есть еще другая и наиболее существенная, вследствие которой, между прочим, расплывчатость изображения сопровождается его окраской или, вернее, возникновением окаймляющей его цветной полосы. Это то, что мы называем теперь хроматической aberrацией. Но Ньютон,— это одно из свойств его замечательного гения,— раз заметив даже, на первый взгляд незначительное незнание обстоятельство, не успокаивался, пока вопрос не становился ясным до конца. Теперь работы его пошли по двум параллельным руслам. С одной стороны, он продолжал работать над усовершенствованием телескопа, с другой же принялся за исследования физического явления, лежащего в основе хроматической aberrации. И тут он скоро пришел к убеждению, что хроматическая aberrация принципиально не устранима. Это убеждение было ошибочно, но оно заставило Ньютона отказаться от попытки усовершенствовать существующий тип телескопов и взяться за постройку инструмента на основе нового принципа.

Хорошо было известно, что концентрировать свет и получать изображения можно при помощи не только линз, но и вогнутых зеркал. В этом случае изображение свободно от хроматической aberrации. И вот Ньютон приступает к постройке зеркального, отражательного телескопа (рефлектора, в отличие от рефрактора, т. е. телескопа с линзой в качестве объектива). Идея отражательного телескопа была не нова. Так, незадолго до этого шотландец Грегори не только предложил построить такой телескоп, но дал даже соответственные расчеты. Но предложение Грегори никогда осуществлено не было. Ввиду того, что Ньютон первый, действительно, построил практически годный рефлектор, ввиду тех трудностей, которые ему при этом пришлось преодолеть, ввиду тех усовершенствований, которые он ввел, он считается по праву одним из изобретателей отражательного телескопа. Впрочем, Ньютон всегда открыто признавал, что работа Грегори ему была известна.

Первый пробный экземпляр рефлектора был закончен Ньютоном в 1668 г.

Сохранилось письмо Ньютона к неизвестному адресату, в котором он дает описание своего телескопа. Вот некоторые выдержки из этого письма, дающие представление о том, чего удалось Ньютону достичь, и характеризующие его взгляд на весь вопрос:

«...инструмент, который я сделал, имеет только шесть дюймов в длину и несколько больше одного дюйма в поперечнике (апертура). Его плоско-выпуклый окуляр имеет фокусное расстояние в $\frac{1}{6}$ или $\frac{1}{7}$ дюйма, так что линейное увеличение инструмента около сорока, и это больше, чем любая 6-футовая (обычная) труба, может, по моему мнению, дать при сохранении отчетливости изображения. Но ввиду скверного качества материала и недостатка в хороших полировочных средствах, он все же не дает такой отчетливости, какую может дать 6-футовая труба; но, во всяком случае, я полагаю, что при его помощи может быть найдено столько же, как и при помощи любой трубы 3 или 4 футов длины, особенно если объект (само) светящийся. При помощи этого телескопа я видел Юпитер отчетливо круглым, видел его спутников и рога Венеры...»

И далее:

«...и я не сомневаюсь, что современем может быть по этому методу построена 6-футовая труба, которая не уступит любой трубе в 60 или даже 100 футов длины, сделанной по обычному типу. В то же время я уверен, что если сделать телескоп обычного типа с объективом из чистейшего стекла, отполированного наилучшим образом, с наивыгоднейшей формой, которую любой геометр (Декарт и т. д.) уже рассчитал или в состоянии рассчитать (а это ведь все, к чему стремились

или чего желали люди до сих пор), то все же такой инструмент вряд ли даст много больше, чем обычный хороший инструмент той же длины. И это утверждение, как ни парадоксально оно может показаться, есть необходимое следствие некоторых моих опытов, относящихся к природе света».

К этим последним знаменательным словам мы сейчас вернемся. Уже из сделанного описания ясно, насколько существенны были достигнутые Ньютоном результаты.

Успех его первого телескопа стал известен в довольно широких кругах, и по настоянию окружающих Ньютон приступил к постройке второго, улучшенного инструмента.

Интересно отметить, что в искусстве полировки зеркал, самой трудной и ответственной части всей работы, Ньютон достиг, по тому времени, чрезвычайно большого совершенства, превосходя в этом искусстве лондонских мастеров-профессионалов.

Этот второй экземпляр был готов в 1671 г. Он был привезен в Лондон, произвел, повидимому, большое впечатление на ученых, был продемонстрирован королю, а затем передан в Лондонское Королевское Общество. На заседании от 11 января 1672 г., посвященном дискуссии его изобретения, Ньютон был избран в члены Общества, в музее которого этот телескоп хранится до сих пор, как одно из его ценнейших сокровищ.

Прежде чем оставить вопрос о телескопе, сыгравший, как мы только что видели, столь заметную роль в жизни Ньютона, позвольте мне сказать несколько слов о дальнейшем развитии этой проблемы.

Несмотря на существенный результат, достигнутый Ньютоном, отражательные телескопы медленно внедрялись в практику астрономов. Решительный сдвиг произошел во второй половине XVIII в., после того как Виллиам Гершель построил свои знаменитые рефлекторы, — один из них имел 40 футов в длину, — при помощи которых им и были произведены замечательные исследования, относящиеся к туманностям и двойным звездам, и была открыта планета Уран.

Но и вопрос о рефракторах не оставался на месте.

Убеждение Ньютона в невозможности усовершенствовать рефрактор, так ярко выраженное в вышеприведенном письме, было, как сказано, ошибочно. Но так велик был его авторитет, что это убеждение принималось в течение долгого времени на веру, и это несомненно тормозило попытки усовершенствовать рефракторы. В 1657 г. стало известно, что Доллонд на практике опроверг мнение Ньютона. Он фактически построил составной объектив, свободный или почти свободный от хроматической аберрации. Открытие Доллонда сыграло в астрономии громадную роль. Теперь можно было строить полноценные рефракторы, имеющие ряд больших преимуществ перед рефлекторами. С этих времен оба типа телескопов развиваются параллельно, конкурируя друг с другом или, вернее, дополняя друг друга, так как каждый из них имеет свои большие недостатки, но и большие преимущества. Может быть, стоит отметить, что самые большие телескопы строятся в настоящее время по отражательному принципу. Таков знаменитый телескоп на Моунт-Вильсон в Калифорнии, с зеркалом, имеющим в поперечнике 100 дюймов. Таков, повидимому, заканчивающийся постройкой на горе Поломар, там же, самый большой из когда бы то ни было существовавших телескопов, диаметр зеркала которого равен 200 дюймов, т. е. около 5 метров.

Как ни важны и ни интересны работы Ньютона по усовершенствованию телескопа, но не они определили его бессмертные заслуги в области оптики. Основы фундаментального оптического открытия Ньютона заложены в тех опытах, «относящихся к природе света», о которых он писал в конце вышеприведенного письма.

Прошло (с этого времени) около трех лет. Через неделю после своего избрания в члены Королевского Общества Ньютон пишет его секретарю Ольденбургу письмо, ставшее знаменитым. Вот его заключительная часть:

«Я хотел бы, чтобы Вы мне сообщили, как долго будут еще продолжаться еженедельные заседания Общества, так как, если они продолжатся еще некоторое время, то я предполагаю представить для ознакомления и обсуждения сообщение об одном философском открытии, которое дало толчок к постройке вышеуказанного телескопа, но которое окажется, я в этом не сомневаюсь, гораздо более существенным, чем сообщение об инструменте, так как оно касается, по моему мнению, самого странного, если не самого важного открытия, которое было сделано до сих пор в отношении действий природы».

Приблизительно через две недели Ньютон прислал в Общество свое знаменитое сообщение — «Новая теория света и цветов» — для доклада и напечатания в «Трудах» Общества.

На этом основном открытии Ньютона я хотел бы остановиться подробнее.

Но тут я чувствую своеобразное затруднение. Когда дело идет о таких открытиях, как открытие Ньютона, которое всем нам известно со школьной скамьи, легко очутиться — я знаю это по себе — в положении того любителя литературы, который на вопрос, как ему понравилось «Горе от ума», сказал, что в грибоедовской комедии он в сущности ничего замечательного не видит, так как она сплошь состоит из давно известных поговорок и пословиц.

Чтобы не терять перспективы, мне кажется, лучше всего стать на историческую точку зрения. Нужно постараться представить себе, хотя бы в общих чертах, состояние вопроса до Ньютона, затем восстановить в памяти то, что сделал Ньютон, и, наконец, коротко проследить ту роль, которую его работы сыграли в дальнейшем развитии науки.

Что же можно сказать о состоянии оптики в то время, когда Ньютон приступил к своим исследованиям, относящимся к природе света?

Чтобы ответить на этот вопрос, целесообразно исходить из той классификации, которой физика придерживается теперь. Мы относим к геометрической оптике те вопросы и ту трактовку их, в которых дело идет о геометрических путях световых лучей при отражении и преломлении. Это важная область оптики, так как она лежит в основе расчета всех оптических аппаратов и приборов. Она по существу носит чисто расчетный характер и очень бедна физическим содержанием. Все другие оптические явления внешнего мира в первую очередь дисперсионные явления, явления дифракции, интерференции, поляризации, в которых проявляется разнообразнейшая игра цветов и которые делают оптику не только одной из наиболее важных областей физики, но и наиболее красивой, относятся к так называемой физической оптике.

Основы геометрической оптики были заложены древне-греческими математиками. Основной закон отражения света был им известен. Основной закон преломления был найден и сформулирован Снеллиусом и Декартом в начале XVII в., правда, как показало открытие Ньютона, не в исчерпывающем вопросе виде.

Декарт в «Диоптике» дал интересные и важные исследования хода лучей при преломлении в прозрачных средах и применил их к объяснению радуги, имея между прочим в виду вопрос о сферической аберрации. Он же дал, на основе этого закона, первую теорию радуги. Таким образом, во времена Ньютона геометрическая оптика стояла на довольно высоком уровне развития. Возможно, что это объясняется именно бедностью физического содержания этой дисциплины и практической важностью стоящих здесь задач.

Совершенно иначе обстояло дело с физической оптикой. Вряд ли будет преувеличением, если мы скажем, что ко времени Ньютона физической оптики как научной дисциплины не существовало.

Само собой понятно, что такие замечательные естественные оптические явления, как лазурь неба, которая, кстати сказать, получила правильное объяснение только в самое последнее время, синева моря, богатство и разнообразие красок в животном и растительном мире, цвета радуги, не могли оставаться без воздействия на людей во все времена. В первую очередь на непосредственные впечатления отзывалось искусство, но и наука (каждой эпохи) не могла, конечно, проходить мимо этих проблем (и в античной науке, и в науке средних веков можно найти ряд интересных наблюдений и замечаний). Но весь (научный) подход к этим вопросам, весь дух исследования в доньютоново время носит совершенно иной характер, чем тот, который мы считаем теперь — главным образом благодаря работам Ньютона — обязательным для всякого физического научного исследования.

Я не могу останавливаться на интересном теоретико-познавательном вопросе о том, чем было и чем должно быть научное исследование вообще. Но я позволю себе, в качестве иллюстрации к только что сказанному, привести несколько примеров.

Первый пример я хотел бы взять из античных времен из знаменитой поэмы Лукреция «*De rerum Natura*», написанной, как известно, в первом столетии до нашей эры. В этой поэме по существу излагаются естественнонаучные взгляды Эпикура. Насколько я знаю, историки считают, что изложение поэмы стоит на высоте современных ей знаний. Большие поэтические достоинства поэмы общепризнаны. Но в ней, несомненно, есть интересные и правильные наблюдения, и замечания общего характера, относящиеся к явлениям природы, в частности о свете и цветах, которым уделяется довольно большое внимание. Но вот что получается, когда дело доходит до научного объяснения в конкретном случае (я цитирую по переводу Ф. А. Петровского): «Мало того — петуха, привыкшего крыльями хлопать ночью и громко кричать, призывая зарю на рассвете, яркие львы выносить совершенно не могут и тотчас, только завидят его где-нибудь, обращаются в бегство. Ясно, конечно, для нас, почему это так происходит: некие есть семена, что, от тел петухов отлетая, львам попадают в глаза и сверлят им зрачки, причиняя острую боль, и для них, хоть и лютых, она нестерпима. Зрение ж наше ничуть от подобных семян не страдает».

Но и позже, в средние века, существенного сдвига в интересующем нас вопросе не произошло. О достоверности фактов, которые часто клались в основу научных рассуждений, можно судить по примеру, заимствованному мною у П. Таннери. В сочинении «О равновесии» известного арабского ученого-алхимика Гебера, жившего в X в., есть около 50 вопросов. Вот один из них: «Почему, как всем известно, облако не дает дождя, когда женщина выходит из дому голой и обращается лицом к облаку?»

Но вернемся к эпохе Ньютона. Каковы в это время были взгляды на фундаментальный вопрос о происхождении цветов? Вот что пишет знаменитый Кеплер в своем сочинении, появившемся в 1604 г.:

«Цвет — потенциальный свет, заключенный в прозрачной материи (если вообще он может считаться чем-то независимым от зрения), а различные свойства в природе материи, в зависимости от ее разреженности или плотности, прозрачности или непрозрачности, обуславливают разнообразие цветов».

И далее:

«Несомненно, что они (т. е. цвета) обязаны своим существованием ослаблению света и прибавлению водянистого материала». В 1611 г. был опубликован трактат о свете знаменитого — так его называет

Ньютон — Антония де Доминика, архиепископа в Сполеро. В нем, в связи с объяснением причины радуги, изложена теория цветов:

«Если в теле заключен чистый свет, как, например, в звездах или огне, и этот свет теряет по какой-нибудь причине свой блеск, то он кажется белым светом.

Если к свету примешивается некоторое количество тьмы, которая все же позволяет свету проходить и не поглощать его всецело, тогда появляются промежуточные цвета. На этом основании огонь кажется красноватым, потому что он смешан с дымом, затемняющим его... Существуют три промежуточных цвета; наименьшая примесь тьмы производит красный цвет...»

Затем идут ссылки на совершенно поверхностные опыты, которым дается явно неправильное истолкование. Изложенный здесь взгляд на происхождение цветов как на результат смешения света с тьмой, — взгляд Кеплера мало от него отличается, — был во времена Ньютона весьма распространен. Его, повидимому, имеет в виду сам Ньютон, когда он в «Оптике» противопоставляет свое объяснение одного случая обычной гипотезе философов.

Представление, лежащее в основе этих и всех им подобных доньютоновских воззрений, поскольку можно вообще что-нибудь определенное в них вложить, заключается в следующем: свет по природе своей не имеет цветности; цветность — новое, от света отличное качество; у Доминика это качество — тьма, которая примешивается к свету при преломлениях и отражениях и придает свету тот или иной цвет. Все эти воззрения выдержаны в духе схоластики Аристотеля и средневековых рассуждений.

Я знаю, что взгляд на средние века как на эпоху полного застоя науки вряд ли справедлив. И в средние века, и после, до Ньютона, можно конкретно указать отдельные замечательные по точности наблюдения и интересные рассуждения отдельных ученых того времени.

Но, с другой стороны, не подлежит сомнению, что теории вроде вышеприведенной, — а они доминировали (до Ньютона) в области физической оптики, — заводили физику в тупик. Их характерная черта: презрительное и крайне легкомысленное отношение к опыту, стремление проникнуть в так называемую сущность вещей при помощи одних рассуждений, оперирующих часто с понятиями, далеко не очевидными, но определения которым не дается. Что такое чистый свет? Тьма наверное не может быть отождествляема с дымом, не то абсурдность всей теории не могла бы не быть ясна авторам. Но тогда что такое тьма, которую можно примешивать в различных пропорциях к свету?

Такие теории, возможно, говорят воображению: но если задача физики состоит в том, чтобы получить возможность на основании результатов определенных опытов предвидеть результаты других без того, чтобы приходилось их производить, и таким образом научиться воспроизводить по желанию те или иные явления и владеть ими, то нужно признать, что приведенные выше теории этой задачи не решают и решить не могут; они лишены научного значения, они бесплодны. Вот, примерно, в каком положении застал Ньютон проблему о цветах.

Но одно замечание необходимо сделать. Мы только что видели, как было еще сильно, а подчас, как, например, в интересующем нас вопросе, и доминировало влияние бесплодной схоластики во времена Ньютона. Но, с другой стороны, хорошо известно, что в эти времена этого рода философия природы как таковая уже утратила свое господствующее значение. Новые веяния, связанные главным образом с именами Галилея, Паскаля, Джильберта, Декарта и других, принесли уже в кон-

це XVI и в первой половине XVII в. замечательные плоды в ряде конкретных физических проблем. Но физическая оптика запоздала. И в 60—70-х годах (XVII в.) наступил, как бы с целью догнать упущенное время, ее замечательный расцвет, и эти годы, как правильно указывает акад. С. И. Вавилов, можно считать годами зарождения научной физической оптики, как экспериментальной, так и теоретической.

В это время, наряду с замечательными опытными исследованиями Гримальди, Гука, Гюйгенса, были положены основы волновым воззрениям, которым — правда, более чем через 150 лет — суждена была такая блестящая будущность.

И особенно ярко сияет в это время гений Ньютона. Основной краеугольный камень всего развития оптики, наложивший свой отпечаток на все дальнейшее развитие физики, — это именно его исследования, относящиеся к центральной оптической проблеме цветов. И здесь ему не на что было опереться, и меньше всего — на волновую теорию.

В подтверждение этого можно сослаться на слова ее основоположника — гениального Гюйгенса. Посылая Лейбницу свой замечательный «Трактат о свете» (в котором заложены основы волновой теории), напечатанный, кстати сказать, в 1690 г., т. е. через 20 с лишним лет после работ Ньютона, Гюйгенс писал:

«В своем трактате о свете я ничего не сказал о цветах, считая этот предмет крайне трудным, особенно ввиду большого разнообразия тех обстоятельств, при которых цвета возникают».

Таким образом, со стороны волновой теории Ньютон помощи в своих исследованиях получить не мог. Наоборот, я думаю, что волновая теория принесла такие блестящие плоды отчасти потому, что она могла базироваться на открытии Ньютона. Вот как обстояло, в основном, дело с фундаментальным вопросом физической оптики, с вопросом о природе света и цветов.

И еще одно, последнее замечание. Работы Ньютона, о которых сейчас будет идти речь, помимо их огромного фактического значения, знаменуют собой принципиальный поворот в направлении физической науки вообще. Вряд ли будет преувеличением сказать, что до Ньютона все исследователи, в том числе и Галилей, приступая к исследованию физической проблемы, исходили из определенных априорных представлений. Опыт служил для их проверки или, в лучшем случае, для внесения поправок. Ньютон порвал с этой традицией. Он считал, что априорное познание природы невозможно, что методами познания являются наблюдение, опыт и обобщение полученных результатов индукцией; что «наилучший и самый надежный метод философствования, по видимому, заключается в том, чтобы сначала усердно изучать свойства вещей и установить эти свойства при помощи опыта, а затем осторожно переходить к гипотезам для их объяснения».

Блестящим результатом применения этих принципов на деле явилось его замечательное открытие, изложенное в вышеупомянутом мемуаре «Теория света и цветов», открытие, к рассмотрению которого я хотел бы теперь перейти.

На родине Ньютона существует прекрасный обычай. Там стараются сопровождать доклады, посвященные творениям великих экспериментаторов, воспроизведением их оригинальных опытов и, по возможности, с теми же аппаратами, которыми они были сделаны.

Мы лишены этой возможности. Единственное, что я могу сделать, это придревиваться, по возможности, оригинальных чертежей и формулировок Ньютона. Я их беру, главным образом не из первого мемуара, а из основного труда Ньютона — его «Оптики». Об этом замечательном сочинении мне придется еще говорить дальше: здесь я толь-

ко замечу, что оно, подобно «Principia», построено по типу «Элементов» Евклида. Сначала идут определения, затем аксиомы, далее предложения — теоремы и задачи, а при них — пояснения и доказательства опытами. Опытная часть занимает в книге основное место. Повидимому, не совсем ясно, что дало первый толчок Ньютону к исследованию призматических цветов. Но несомненно, что одной из причин его интереса к этому вопросу было, как мы видели выше, желание уяснить себе явление хроматической aberrации. И вот Ньютон, для выяснения основного вопроса, делает следующий опыт, который стоит в «Оптике» на первом месте.

Если посмотреть на продолговатый прямоугольный кусок бумаги, окрашенный наполовину в красный, наполовину в синий цвет через призму, как это показано на рис. 1, то прямоугольник представляется как бы переломанным; синяя половина отклонена сильнее, чем красная.

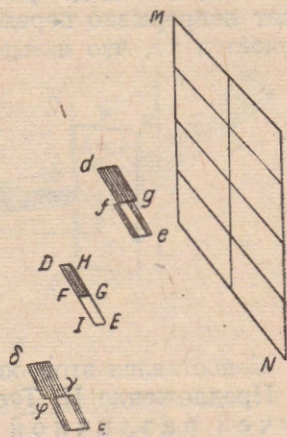
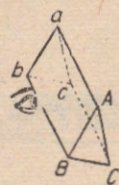


Рис. 1

Следующий опыт: подобный же кусок бумаги, т. е. прямоугольник, обе половины которого окрашены, как в опыте первом, обматывается несколькими витками черного шелка, помещается вертикально (рис. 2) и освещается пламенем свечи. Линза отбрасывает изображение освещенной бумаги на передвижной экран, и здесь обнаруживается следующее. Там, где получается резкое изображение красной половины, — нити служат для точной установки «на фокус», — изображение синей половины расплывчато. И наоборот, если придвинуть экран ближе, то получается резкое изображение синей, но зато расплывчатое красной стороны.

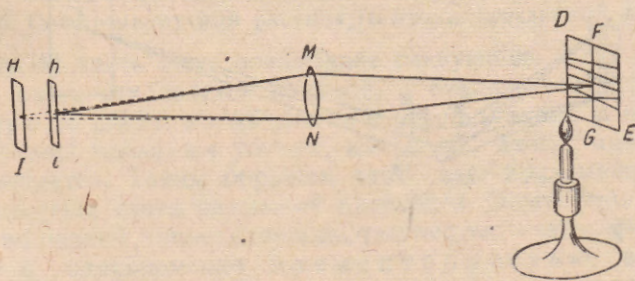


Рис. 2

Эти опыты иллюстрируют следующее основное положение Ньютона: Книга I, Предложение I, Теорема I. — Лучи, отличающиеся по цвету, отличаются и по степеням преломляемости. Затем Ньютон переходит к новой серии опытов. Основной из этих опытов следующий.

Солнечный свет попадает через узкое отверстие в ставне в затемненную комнату. На противоположной стене получается кружок (того же белого или, вернее, желтоватого цвета, как и свет солнца). Теперь на пути лучей (рис. 3) становится призма. Тонкий пучок света после прохождения через призму расщепляется или, вернее, после призмы

наблюдается не тонкий цилиндрический пучок, а пучок, веерообразно расходящийся. На стене теперь виден не кружок, а полоса, длина которой была в опыте Ньютона приблизительно в 5 раз больше ширины, оставшейся равной диаметру кружка. И эта полоса окрашена во все цвета радуги, начиная с красного наверху, через оранжевый, желтый, зеленый, синий, до фиолетового, причем — Ньютон это подчеркивает — цвет непрерывно переходит через всевозможные оттенки. На стене получается то, что называют солнечным спектром.

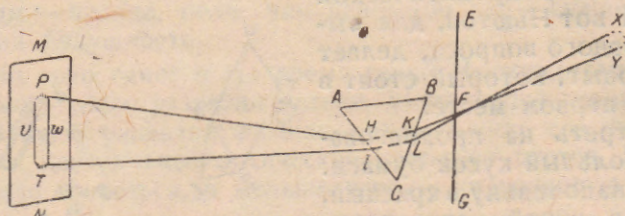


Рис. 3

Сопоставляя этот опыт с положением I, Ньютон заключает:

Предложение II, Теорема II. — Солнечный свет состоит из лучей различной преломляемости.

Указанные предложения иллюстрируются (контролируются) целым рядом опытов, которые я здесь детально приводить не буду. Замечу только, что в этих и последующих опытах Ньютон применил впервые методы и приемы исследования, которыми мы пользуемся и сейчас в оптических лабораториях. Такова, например, установка на минимальный угол отклонения призмы (рис. 4); простой, но чрезвычайно эффективный метод скрещенных призм и т. д. Для получения чистого спектра возможно большей интенсивности Ньютон пользовался устройством (коллиматорная щель, призма и фокусирующая аппаратура), которое лежит и сейчас в основе всех призмных и других спектроскопических приборов.

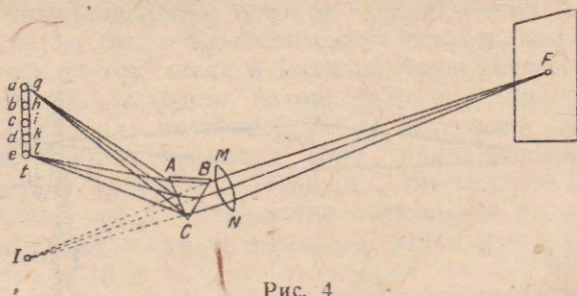


Рис. 4

Нужно упомянуть еще о ряде опытов, простых и изящных, имеющих целью иллюстрировать предложение, в известном смысле обратное предложению II, что спектральные цвета, будучи смешаны в соответственных пропорциях, опять дают ощущение белого цвета.

Все это опять-таки хорошо известно, хотя нужно сказать, что школьное изложение и те опыты, которые демонстрируют обычно, не дают достаточного понятия о тонкости эксперимента и о том значении, — мы увидим это дальше, — которое исследования Ньютона действительно имеют.

На одном из дальнейших опытов я должен все же остановиться несколько подробнее. Я имею в виду знаменитый опыт 6-й в первой книге. Этому опыту Ньютон придавал большое значение — он в своем первом мемуаре назвал его «experimentum crucis».

Речь идет об изучении свойств отдельных «цветных лучей» выходя-

щего из призмы веера. Для этого Ньютон поступает так. Он отбрасывает солнечный спектр на доску (рис. 5 и 5б), в которой проделано узкое отверстие, так что, смотря по положению этого отверстия, наружу выходит только тонкий пучок лучей, отвечающих определенному цвету спектра. Этот пучок Ньютон заставляет в свою очередь падать на вто-

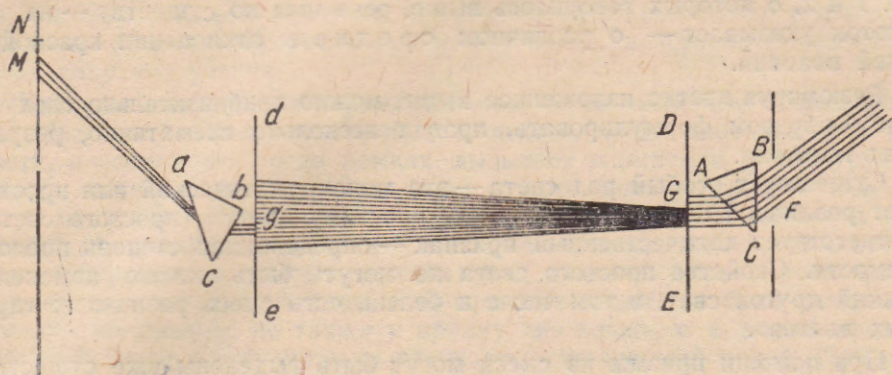


Рис. 5а

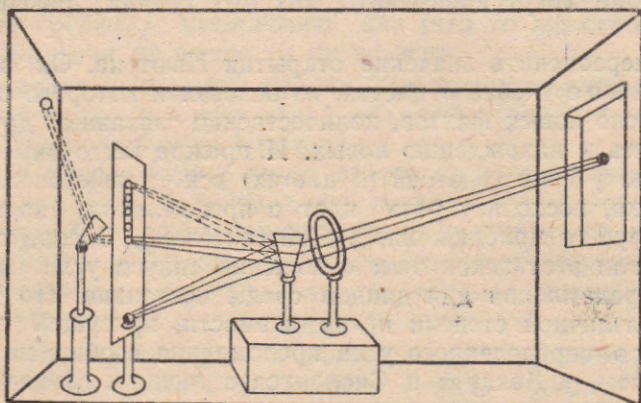


Рис. 5б. Собственноручный рисунок Ньютона, присланный им Арланду.

рую призму. И здесь опыт показывает следующее. Этот «цветной» тонкий пучок света отклоняется призмой, и отклоняется в различной степени, смотря по цвету; но он уже не расщепляется, и остается по выходе из призмы таким же тонким, как и при входе; «цвет» пучка при этом не меняется. Таким образом, этот опыт доказывает существование особого рода света различной цветности. Этого рода свет характеризуется, во-первых, определенной цветностью — это физиологическое свойство — и одновременно элементарностью, в том смысле, что при преломлении он не расщепляется, в противоположность, например, солнечному свету, а отклоняется как целое, причем степень преломления, т. е. количественный физический признак, однозначно связана с цветностью. Это открытие чрезвычайной важности Ньютон формулирует в «Оптике» в виде определения:

«Свет, лучи которого все одинаково преломляемы, я называю простым, однородным и подобным; свет же, одни лучи которого более преломляемы, чем другие, я называю сложным, неоднородным и разнovidным».

Рядом простых, но убедительных опытов Ньютон показывает, что «простой» свет или, как мы теперь говорим, монохроматический, или спектрально простой, не изменяется ни при отражении, ни при преломлении, ни при рассеянии. Цвет и степень преломляемости —, так сказать, изначальные свойства цвета.

Но Ньютон знает, что ощущение того или иного цвета не может решать вопрос о его монохроматичности. Можно смешивать, например, синий и красный свет, получить желтый, который глаз не отличит от спектрального желтого, но который при прохождении через призму расщепится. Цвета тел немонхроматичны; поэтому, например, в опытах 1 и 2, о которых говорилось выше, речь шла по существу — на это Ньютон указывает — о различном среднем отклонении красной и синей половин.

Резюмируя кратко изложенное выше, можно приблизительно следующим образом формулировать, правда несколько схематично, результаты Ньютона.

Существует особый род света — это монохроматический или простой свет различной цветности. Каждому простому цвету (простого света) соответствует количественный признак — определенная степень преломляемости. Свойства простого света не могут быть никак изменены. Всякий другой свет, в том числе и белый, есть смесь различных «простых цветов».

При помощи призмы из смеси могут быть выделены уже существующие в смеси, отдельные простые цвета; но ни призмы, ни другие приспособления не могут навязывать, как это думали раньше, тот или иной цвет.

Трудно переоценить значение открытия Ньютона. Он впервые дал действительное учение о цветах, на основании которого он сам нашел огромное число новых фактов, количественно связанных друг с другом, и открыл путь к нахождению новых. И прежде всего заметим следующее. В свете учения Ньютона (о цветах) вся доньютонова геометрическая оптика, поскольку речь идет о преломлении, являлась лишь первым и грубым приближением. Действительно, Снеллиус и Декарт формулировали этот закон так: отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для данной среды постоянно. Но теперь ясно, что ввиду различной степени преломляемости, присущей разным цветам, одного определенного угла преломления вообще не существует. Таким образом, у Декарта и Снеллиуса в лучшем случае речь может идти о некотором весьма неопределенном среднем значении угла. Отсюда очевидно, что из рамок доньютоновой геометрической оптики все вопросы о цветах выпадали. Ньютон показал справедливость закона преломления для каждого цвета в отдельности. Таким образом, настоящую законченную количественную форму геометрическая оптика получила лишь благодаря открытию Ньютона. Целый класс явлений стал теперь доступен количественному рассмотрению. Определив, например, на опыте степень отклонения различных монохроматических лучей (скажем, в данном сорте стекла), или, как мы говорим, их коэффициент преломления, при помощи призмы, Ньютон уже без дальнейших опытов мог количественно рассчитать хроматическую аберрацию в линзах. Ньютон это и сделал.

Другой пример. Декарт в своей знаменитой теории радуги исходит из правильного представления о том, что радуга есть результат преломления и отражения солнечных лучей в взвешенных в воздухе каплях воды, и на основании закона преломления выводит величину того угла, под которым выходят из капли лучи, с особенно большой интенсивностью. Под этим углом, который он определяет, мы радуго и видим. Это большое достижение. Но теория Декарта даже не коснулась и не могла коснуться самой интересной, по существу, стороны проблемы: почему радуга так интенсивно окрашена? какова последовательность цветов? и т. д. Ответ на это содержится в учении Ньютона и состоит, конечно, в том, что, так как угол, под которым мы видим свет, выходящий из капель, есть следствие преломления, степень же преломления

зависит от цвета, то мы и видим различные цвета в несколько различных направлениях. Ньютон дал количественный расчет явления, определил последовательность цветов, ширину радуги и т. д. Основные черты его теории остаются неизменными и сейчас. Полная теория радуги с учетом дифракции была дана лишь в XIX в.

Я думаю, что эти немногие примеры показывают смысл и огромное значение открытия Ньютона и, прежде всего, действительную (конкретную) силу его учения.

Как уже сказано, экспериментальная часть оптических исследований Ньютона по целеустремленности опытов, по их простоте и по точности, в возможных тогда рамках, вызывает изумление, и тем труднее понять, каким образом Ньютон впал в одну ошибку, которая имела и чисто практические последствия. Ньютон, при своих исследованиях различной преломляемости разных монохроматических лучей, умышленно сильно вариировал опыты, изменяя угол падения, величину отверстия и, наконец, исследуя различные прозрачные среды: он брал различные стеклянные призмы, но также и призмы «из воды», т. е. полный призматический сосуд с стеклянными стенками, наполненный водой. При этом он пришел к заключению, что величина дисперсии, т. е. разница в степени отклонения двух различных (близких к краям спектра) лучей, пропорциональна среднему отклонению или (что то же самое) что относительная дисперсия от вещества не зависит.

Этот результат, который и привел Ньютона к убеждению о невозможности построить ахроматический объектив, грубо неверен. Каким образом мог так ошибиться Ньютон?

Я не знаю удовлетворительного ответа на этот вопрос. Возможно, что, как думает С. И. Вавилов, здесь сыграло роль то обстоятельство, что Ньютон для повышения преломления прибавлял к воде (он сам это говорит) свинцовый сахар. Возможна известная теоретическая предвзятость, возможны и некоторые другие предположительные объяснения; но все это лишь предположения.

Еще одно замечание. Ньютон, как мы видим, неоднократно подчеркивает стабильность — неизменяемость свойств простого света, которую он, повидимому, считал абсолютной. Это мнение имело значение в формировании его теоретических воззрений на природу света. Стабильность (простого света) является и в настоящее время одним из важнейших положений в оптике, но, правда, не в этой абсолютной форме. Цвет, — мы теперь говорим: длина волны монохроматического света, — действительно чрезвычайно стабилен, но, при известных условиях, он все же может изменяться. Однако такого рода изменения Ньютон заметить не мог. Для этого средства, которыми он располагал, не были достаточны, так как эти изменения крайне малы и очень редки, и каждый раз, когда удается создать условия, меняющие цвет монохроматического света, это является событием в физике — вплоть до последнего времени.

Одним из верных показателей значения физического открытия является то влияние, которое оно оказывало на дальнейшее развитие науки. Подходя с этой точки зрения к открытию Ньютона, мы, несомненно, должны его считать одним из крупнейших физических открытий вообще.

Трудно себе представить, как развивалась бы оптика без исследования Ньютона и специально без открытия простых спектральных цветов, являющихся теми чрезвычайно устойчивыми элементами, из которых строится, согласно Ньютону, всякое световое поле.

Дело в том, что разнообразнейшие, многочисленные и многосторонние оптические явления, открытием которых обогащалась оптика в даль-

нейшем, наблюдаемые в обычном, например, белом свете, настолько сложны, что разобраться в них бывает чрезвычайно трудно. Но те же явления при применении монохроматического света значительно упрощаются, так что здесь является возможность установить закономерности. Сделав это и принимая во внимание принцип суперпозиции — один из плодотворнейших принципов оптики, мы уже без особенных затруднений, главным образом расчетным путем, переходим к общему случаю любого света. Этим путем шло познание всех новых оптических явлений.

Развитие идей Ньютона привело также к громадному обогащению фактической стороны науки.

В 1814 г. Фраунгофер нашел в сплошном солнечном спектре темные линии. В свете ньютонова открытия это означало, что в приходящем от солнца к нам свете отсутствуют или сильно ослаблены некоторые простые спектральные цвета.

С другой стороны, было найдено, что в спектре светящихся газов сплошная часть спектра отсутствует, а присутствуют только отдельные простые цвета — линейчатый спектр, причем комбинация их специфична для атомов данного сорта.

На основе этих двух фактов Бунзеном и Кирхгофом был создан спектральный анализ, которому суждено было сыграть такую огромную роль в физике, химии и астрономии.

Ведь только благодаря ему удалось решить казавшиеся абсолютно неразрешимыми задачи: определить химический состав небесных светил, определить лучевые скорости звезд (по отношению к земле), открыть и измерить магнитное поле на солнце и т. д. Что осталось бы от астрофизики, если отнять у нее спектральный анализ?

А в химии? Ряд новых элементов был открыт только благодаря спектральному анализу. В самое последнее время спектральный анализ дал возможность исследовать структуру сложных молекул, и эти исследования, давшие уже интересные результаты, несомненно открывают в этой области новую главу. Почти все это хорошо известные вещи, но не всегда помнят, что спектральный анализ — близкий и прямой наследник открытия Ньютона.

Одно замечание я хотел бы еще сделать. Когда стало ясно, что структура линейчатого спектра, испускаемого атомом, специфична для последнего, явилось желание познать динамику атома через посредство его спектра или, другими словами, построить механическую, вернее — механоэлектрическую его модель.

Однако все попытки это сделать оказались тщетными. Более того, мало-помалу выяснилось, — особенно убедительно это показал лорд Релей, — что этот неуспех не случаен, что действие любой механической модели будет находиться в противоречии с наблюдаемой закономерностью в спектрах.

Получился конфликт, который один из видных ученых назвал скандалом тогдашней физики.

Гордиев узел разрубил, опираясь на знаменитое открытие Планка, Бор в 1913 г.

Дело в том, что всегда исходили из молчаливой предпосылки, что атом, как механическая система, подчиняется законам механики Ньютона. Но эта предпосылка ни на чем не основана. Механика Ньютона сохраняет всю свою силу для макромира, но для микромира, для атомов нужно построить механику на новых принципах. Бор их указывает — основные. Тогда не только исчезают противоречия, но целый ряд совершенно необъяснимых прежде спектральных закономерностей, естественно, вытекает из новых предпосылок.

Таким образом, можно сказать, что оптические открытия Ньютона дали то оружие, которое в конце концов способствовало разрушению векового убеждения или, вернее, предубеждения в универсальной применимости механики Ньютона.

Но этот конфликт не был бесплоден. Он, как мы только что видели, был одним из стимулов, вызвавших к жизни ту, на мой взгляд, замечательную концепцию, которую мы называем квантовой физикой.

Разбирая ход идей Ньютона, мы оставили без внимания внешние события его жизни. Может быть, целесообразно восполнить коротко этот пробел. Мы видели, что Ньютон окончил университет в 1665 г. со степенью бакалавра. В начале 1668 г. он принят, как «Major Fellow», в колледж Trinity и в том же году становится магистром. В следующем году Барроу оставляет Люкасовскую кафедру, чтобы отдаться всецело богословию, и передает ее Ньютону. В начале 1672 г., как мы видели, он избирается в члены Королевского Общества. Таким образом, к 30-летнему возрасту Ньютон достиг той независимости и того положения, которое позволило ему посвятить себя всецело науке. Его профессорские обязанности не были обременительны. Он должен был читать одну лекцию в неделю — да и та, повидимому, часто отменялась за отсутствием слушателей — и давать дважды в неделю, если нужно, консультацию студентам. Повидимому, и в этом потребности большой не было.

Выбор темы предоставлялся профессору. Первые два года Ньютон читал оптику. На этих лекциях он впервые изложил свои открытия. Лекции при жизни Ньютона не были опубликованы. Несколько копий их было депонировано в архиве университета и выдавалось желающим.

Может быть, здесь уместно сказать несколько слов о том, какие труды по оптике оставил после себя Ньютон. В противоположность своим астрономическим работам, которые предварительно не публиковались и составили содержание гениальных «Principia», замечательный доклад о которых акад. А. Н. Крылова мы только что выслушали, оптические работы докладывались и печатались по мере получения результатов.

Основные мемуары, а также письма, замечания, полемика напечатаны в трудах Королевского Общества. В 1704 г. Ньютон опубликовал свой главный труд по оптике: «Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света». Это сочинение Ньютона, написанное по-английски, получило широкое распространение. При его жизни вышло три английских, три латинских и одно французское издание.

Много раз «Оптика» переиздавалась в течение XVIII в. В ней Ньютон собрал то, что им было сделано раньше, дополнил и отчасти углубил. В качестве приложения Ньютон поместил ряд вопросов — «Queries». В них он дал результаты своих, несомненно многолетних, размышлений об оптике и о самых разнообразных вопросах физики. Это замечательное произведение само по себе. О «Queries» я еще скажу несколько слов ниже. Наконец, в 1729 г. были изданы его «Lectiones opticae». Их содержание, приблизительно, насколько я могу судить, не имея их под руками, то же, что и «Оптика», но в «Оптике» отсутствуют какие бы то ни было математические выкладки. В «Lectiones» расчеты приведены *in extenso*. «Оптика» существует в русском высокоавторитетном комментированном переводе акад. С. И. Вавилова. Из письма Сергея Ивановича я знаю, что в связи с теперешним юбилеем он перевел и «Lectiones». Мы все с нетерпением будем ждать их появления.

Я хотел бы указать еще на один источник. Это замечательный труд акад. А. Н. Крылова, опубликованный им в 1935 г., — «Теория рефракции Ньютона». История этого труда, по сообщению самого Алексея Николаевича, с разрешения которого я ее привожу, такова. В 1832 г. на

чердаке одного дома в Лондоне была обнаружена коробка, содержащая разного рода рукописи и старые письма. В числе этих бумаг оказались 27 писем Ньютона к Флямстиду. Все бумаги были доставлены вице-президенту Лондонского астрономического общества Балби, приведенны им в порядок и изданы в виде тома *in quarto*. В продажу книга не поступала, была разослана научным учреждениям и известным астрономам, так что эта книга редкая. Алексей Николаевич купил ее случайно за два с половиной шиллинга на барахолке в Лондоне.

Среди писем Ньютона есть относящиеся к теории рефракции.

При определении положения светил из наблюдений нужно вводить поправку на искривление светового луча в земной атмосфере — так называемую атмосферную рефракцию. Ньютон не был удовлетворен существовавшими таблицами и создал свою теорию, по которой были рассчитаны таблицы. Этой теории Ньютон не опубликовал. Только в письме к Флямстиду он сообщает таблицу и формулирует основную теорему без доказательств. Таблицы еще раз были опубликованы Галлеем.

Алексей Николаевич восстановил ход мысли Ньютона и дал полное доказательство его предложений, причем он пользовался только теми математическими средствами, которыми располагал Ньютон, и тем воскресил эту чрезвычайно интересную работу Ньютона. Вот что говорит в заключение своей статьи Алексей Николаевич о ценности этой оптической работы для астрономии:

«Во все эти подробности я вошел, чтобы показать, насколько полна и обща та теория астрономической рефракции, которую Ньютон создал в конце 1694 г. и начале 1695 г., но которую он, к сожалению, не опубликовал. Если развить ньютонovu теорию теми элементарными методами анализа, которыми Ньютон обладал, и сравнить ее с современными теориями, то сразу можно будет заметить, сколь простое и естественное получается изложение и сколько мало к нему по существу за 240 лет прибавлено».

Еще одно замечание. Здесь, в Боровом, я не мог, конечно, в желательной мере пользоваться источниками. У меня была под руками обстоятельная новая популярная биография Луи Тренси Мора, которая содержит много писем Ньютона и цитаты из некоторых документов. Из трудов Ньютона я располагал, благодаря любезности Алексея Николаевича, только русским переводом «Оптики» и трудом Алексея Николаевича, о котором я только что говорил. Приводимые мною фактические данные взяты из этих источников. За освещение и оценку их несу ответственность, конечно, я сам.

Как же были приняты открытия Ньютона современниками?

По получении его сообщения о новой теории света и цветов, о которой мы говорили выше, Королевское Общество на заседании постановило выразить автору благодарность за его сообщение, довести до его сведения, что оно считает желательным напечатать сообщение, а также поручает секретарю переслать копию Гюйгенсу. Одновременно была выбрана комиссия, состоящая из архиепископа Салисберийского, Бойля и Гука, для подробного изучения сообщения Ньютона и доклада Обществу.

Уже в следующем заседании, состоявшемся через неделю, Гук представил свой подробный доклад. Трудно, говоря о Ньюtone и специально о его оптических работах, совсем обойти молчанием личность Гука. С 1662 г. он занимал должность куратора Королевского Общества. В его обязанности входило на каждом заседании Общества, т. е. раз в неделю, демонстрировать три или четыре значительных опыта (так было записано в протокольной книге Общества), не ожидая вознагра-

ждения, пока не соберется соответственный фонд. В его обязанности входило также собирать раритеты для музея Общества. Среди раритетов был, например, живородящий страус, а также трава, выросшая в желудке дрозда. Гук был крупнейшим ученым, но разбрасывался и редко доводил свою мысль до конца. Его имя звучало бы теперь громче, если бы его не затемняло соседство Ньютона. В жизни Ньютона Гук играл роль злого гения.

Не было почти ни одной работы Ньютона, начиная от телескопа, которую бы Гук не раскритиковал или по поводу которой он не заявлял бы о своем приоритете. Ньютон его не любил и со своей стороны замалчивал его работы. Вот что говорит о нем биограф Ньютона Мор:

«Что это был за человек, чья личная оппозиция задержала публикацию «Оптики» на 30 лет и чуть не воспрепятствовала завершению «Principia», чей злой язык усугубил стремление Ньютона к замкнутости и уединению, охладив его юношеский энтузиазм по отношению к Королевскому Обществу, и отравлял ему вкус к науке?»

Доклад Гука замечателен во многих отношениях. Он содержит отдельные мысли, далеко, по моему мнению, опередившие его время и понятые только в конце XIX в. Лучше всего я прочту вам выдержку из этого доклада:

«Мне доставили большое удовольствие его поучительные и тонкие наблюдения. Но хотя я всецело согласен с ним в истинности того, что он утверждает, так как оно подтверждается сотнями испытаний, я в то же время должен сознаться, что не могу считать эти наблюдения неопровержимым доказательством истинности его гипотезы для решения проблемы о цветах...»

Отрицая далее за опытом 6-м значение *experimentum crucis*, он указывает, между прочим, на то, что предложение II не вытекает с неизбежностью из этого опыта.

Для него наличие всех цветов в белом луче столь же непонятно, как и утверждение о том, что все тона органа содержатся уже в воздухе мехов. И далее:

«Я не хотел бы быть понятым так, будто я этим всем возражаю против его теории как гипотезы, так как я очень охотно соглашаюсь с каждым из высказанных в ней положений и считаю ее весьма тонкой и остроумной и способной объяснить все явления цветов. Но я не могу ее считать ни единственной гипотезой, ни настолько неопровержимой, как математическое доказательство!»

Общество постановило послать копию Ньютону и продолжать, в случае его согласия, печатать сообщения Ньютона; доклад же Гука напечатать после, дабы Ньютон не мог счесть неуважением, что так быстро последовало опровержение на сообщение, встреченное Обществом дружными аплодисментами.

Вот что писал великий Гюйгенс по поводу открытия Ньютона Ольденбургу:

«Что же касается его новой теории цветов, то она мне кажется чрезвычайно остроумной, но нужно посмотреть, согласуется ли она со всеми опытами».

А затем, в другом письме к Ольденбургу:

«То, что вы напечатали в последнем номере, сильно укрепляет его доктрину о цветах. Но в то же время причина света может быть совсем иной, и мне кажется, что он должен был бы удовольствоваться тем, чтобы считать свое утверждение вероятной гипотезой».

Я не буду останавливаться на других оппонентах. Укажу только на одного — профессора физики в одном из парижских колледжей —

Пардиза, так как, тронутый корректным тоном его критики, Ньютон ответил ему двумя подробными письмами, предназначенными, конечно, не только для него, но и для Гюйгенса и Гука. Нужно отметить, что Ньютон вообще чрезвычайно болезненно относился ко всякой критике его работ.

«Я вижу,— пишет он по поводу, правда, невежественной критики некого Линуса,— я сделался рабом философии; когда я освобожусь от дела Линуса, я решительно распрощаюсь с ней навсегда, за исключением того, что я буду делать для собственного удовлетворения...»

И далее:

«Я вижу, нужно или отказаться от того, чтобы давать что-нибудь новое (в науке), или сделаться рабом для его защиты...»

Что же Ньютон отвечает по существу на критику Гюйгенса и Гука? Он считает, что критика их бьет мимо цели. Они критикуют его гипотезу, в то время, как существо дела заключается совсем в другом. Вот что пишет он в письме к Пардизу:

«В моем труде изложены, по моему мнению, только определенные свойства света, которые, будучи теперь открыты, могут быть, как я полагаю, легко доказаны. Если бы я эти свойства не считал истинными, я скорее отбросил бы их, как тщетную и пустую спекуляцию, чем признал бы их гипотезой».

Приблизительно то же он пишет и в ответ Гуку:

«Верно то, что из моей теории я вывожу аргументы в пользу того, чтобы считать свет телесным явлением. Но это утверждение я не считаю обязательным. Я знаю, что найденные мною свойства света могут в известной мере быть объяснены другими механическими гипотезами, поэтому я предпочитаю отказаться от всех их вообще». И кончает: «Вы видите, насколько нет нужды спорить о гипотезах».

Итак, Ньютон обвиняет своих оппонентов в том, что они критикуют совершенно второстепенную часть его работы и что поэтому критика совершенно лишена значения.

Насколько я знаю, большинство историков науки считает эту отповедь Ньютона правильной. Я не могу с этим согласиться. Одно, конечно, бесспорно: в своих оптических работах — делом, а в только что приведенных высказываниях — словом Ньютон впервые провозгласил положение, что познать природу а priori нельзя, что высшей апелляционной инстанцией во всех физических вопросах является опыт, и этим закрепил за собой славу основоположника наших современных взглядов на физику. Но совершенно другой вопрос — возможно ли такое полное и строгое разделение фактов от теории, как его постулирует Ньютон?

Я не могу и не хочу касаться этого вопроса по существу*. Мне кажется, что в данном случае дело обстоит проще. Если в «Началах» роль гипотез сведена до минимума, то это не так в «Оптике». Здесь вся структура изложения и отдельные формулировки фактов носят отпечаток корпускулярной гипотезы и часто теряют смысл, если статью на волновую точку зрения. Мне кажется, таким образом, что и Гук и Гюйгенс имели основания для своей критики. В чем их можно упрекнуть,— это, на мой взгляд, в том, что они в пылу критики недостаточно оценили все громадное значение открытия Ньютона в целом. Впрочем, нам, имеющим пред глазами плоды, которые эти открытия принесли, это сделать легче.

С опубликования первого оптического мемуара прошло около четы-

* Не могу себе, однако, отказать в удовольствии привести высказывание одного из французских философов конца XVIII в.: «Sans théorie on ne sait ce qu'on dit quand on parle et ce qu'on fait quand on agit».

рых лет. 18 ноября 1675 г. Ньютон представляет в Королевское Общество замечательный мемуар, посвященный исследованиям цветов тонких прозрачных пластинок или слоев. Эти исследования мы все знаем под названием «Ньютоновы кольца». Общеизвестно также, в чем состоит сущность явления.

Прозрачные неокрашенные вещества обнаруживают в очень тонких слоях яркие цвета. Хорошим примером могут служить цвета мыльных пузырей. В портах часто видны на спокойной воде красиво окрашенные пятна. Они появляются там, где плавают на воде тонкие слои керосина. Это явление было известно до Ньютона. Им занимались Бойль, Гримальди и особенно, в своей книге «*Micrographia*», Гук, который подробно и правильно описывает относящиеся сюда явления под именем «фантастических опытов». Более того, толкование Гука содержит первый, правда чисто качественный и расплывчатый, вариант того, что мы сейчас называем интерференционным объяснением. Но никто, в том числе и Гук, не смог разобраться в этом явлении. Дело в том, что наблюдения делали в белом свете, и тут явления слишком многообразны и сложны.

Ньютон приступил к этим опытам, предвидя с своей обычной прозорливостью, что здесь можно обнаружить новые свойства однородного света. Это ему, действительно, удалось. В однородном свете явления упрощаются, и Ньютону удалось найти те количественные закономерности, которые оказались типичными для всех интерференционных явлений. Уже в постановке опытов проявилось исключительное экспериментальное искусство Ньютона.

Количественные исследования в этой области трудны, так как толщина слоев — порядка $1/1000$ мм. Нужно измерять такие малые толщины. Соответствующих устройств для этого тогда не было. Ньютон обходит трудность этого измерения замечательным приемом. На плоскую стеклянную поверхность он кладет выпуклой стороной плоско-выпуклую линзу — объектив телескопа с очень большим радиусом кривизны (рис. 6). Тогда между нижней плоской и верхней выпуклой поверхностями образуется чрезвычайно тонкий слой воздуха, обнаруживающий пестрые яркие цвета: цветные кольца в белом свете и чередование одноцветных светлых и темных колец — в однородном.



Рис. 6. $h = d, 2d, 3d, \dots$

$$h_1 = \frac{d}{2}, \frac{3d}{2}, \frac{5d}{2}, \dots$$

Гвоздь устройства в том, что, во-первых, толщина слоя различна в различных местах, т. е. мы имеем здесь как бы набор слоев различной величины, а главное: геометрия здесь такова, что расстояние от центра до данного места значительно, в несколько сот раз больше толщины слоя в этом месте. Измеряя это расстояние, мы определяем толщину, которая по малости не поддается непосредственному измерению, уже при помощи расчета.

Вот результат — основной результат Ньютона. Слой воздуха не отражает, если его толщина равна некоторой величине d или кратному d . Это уже замечательное явление. Если отставить нижнюю поверхность, то у нас отражение получается; при присоединении второй поверхности это отражение, как этим опытом показал Ньютон, пропадает. Наоборот, слой сильно отражает, если толщина его равна

$$\frac{1}{2}d, \frac{2}{3}d, \frac{5}{2}d$$

Ньютон экспериментально определил эту толщину d : для цвета на границе между красным и желтым она оказалась равной $\frac{1}{89\,000}$ дюйма.

Юнг первый в 1801 г. дал объяснение этому явлению с точки зрения волновой теории и дал ему имя интерференции. Объяснение это мы считаем правильным и сейчас. Оно состоит в том, что световая волна отражается от первой поверхности, а прошедшая часть — от второй. В точке наблюдения сходятся две волны, из которых вторая несколько запаздывает относительно первой. При общем запаздывании в целое число волн (в зависимости от толщины слоя) обе волны складываются. При запаздывании на полуцелое число волны взаимно уничтожаются.

Ньютоновская толщина d соответствует в волновой концепции $\frac{\lambda}{2}$. Таким образом, Ньютон фактически впервые определил длину волны света. Его число отличается только на несколько процентов от современного.

Как же объяснил себе Ньютон это явление? Ему пришлось прибегнуть к специальной гипотезе, приписывая свету некоторые припадки, — «fits», как он их назвал, «приступы», — делающие отражение то трудным, то легким. Но главное — он понял, что явление однозначно говорит за то, что в основе процессов, обуславливающих однородный свет, лежит периодичность. Это изначальное свойство, которое при всех перестройках оптических воззрений, вплоть до сегодняшнего дня, кладется во главу угла. Этого открытия никто у Ньютона никогда, как замечает акад. С. И. Вавилов, не оспаривал. Только не все знают, что его сделал Ньютон; оно идет большей частью как анонимное.

В современной физике интерференционные явления играют чрезвычайно важную роль. Например, вопрос о разрешающей силе микроскопа относится в область интерференции. Интерференционные явления лежат в основе самых тонких методов измерительной техники.

Без привлечения интерференционных явлений известный опыт Майкельсона, давший толчок к созданию принципа относительности, не мог быть осуществлен. Мы видим, что первые фундаментальные количественные закономерности в этой области были установлены Ньютоном.

Я довольно подробно остановился на двух основных открытиях Ньютона. Я надеюсь, что мне удалось дать почувствовать, что они являются фундаментальными, так сказать, в буквальном смысле слова, — тем фундаментом, на котором строились и строятся наши дальнейшие знания по оптике.

Но ими не исчерпываются оптические исследования Ньютона. В «Оптике» его есть много интересных замечаний, наблюдений и указаний, интерес к которым и сейчас может быть не только исторический. Я хочу коротко указать на следующее. Исследуя открытое незадолго до этого Бартолинусом двойное лучепреломление в исландском шпате, Ньютон пришел к выводу, что каждый из двух выходящих из кристалла лучей обладает интересным свойством. В то время как обычный луч имеет осевую симметрию, оба эти луча ее лишены. Не все проходящие через луч плоскости равноправны между собой. Такие лучи Ньютон называет поляризованными. Вы знаете, какую громадную роль играет в современной физике учение о поляризованном свете. Указанное важное свойство плоскополяризованного света идет от Ньютона. (Это замечание находится не в тексте, а в вопросах.)

Наконец, «Оптика» заканчивается изложением некоторых наблюдений, относящихся к явлениям, открытым Гримальди и касающихся

изгибания лучей при их проходе около лезвия ножа, через щели и т. д., т. е. огибания светом препятствий. Ньютон делает ряд наблюдений в однородном свете, но ни к каким количественным закономерностям не приходит. Заканчивается «Оптика» следующими словами:

«Ввиду того, что я не завершил этой части моего плана, я закончу предложением только нескольких вопросов для дальнейшего исследования, которое произведут другие».

Эти вопросы, знаменитые «*Queries*», — как сказано, плод многолетних упорных размышлений, и не только по оптическим вопросам, — представляют исключительный интерес. В них, между прочим, Ньютон отрешается от своей нелюбви к гипотезам и показывает, что он лучше других умеет гипотезы измышлять. Эти вопросы — только по форме вопросы, по существу — это утверждения.

Нас учат, что Ньютон придерживался корпускулярной гипотезы, что Гюйгенс разработал волновую гипотезу, которая в конце концов одержала полную победу. Это, действительно, почти верно. Но это утверждение схематично, бледно и не дает, в сущности, никакого понятия об истинном положении дела. И это особенно ясно видно именно из «*Queries*». Ведь в таком виде это утверждение производит впечатление, будто Ньютон в известном смысле не дорос до волновой теории и что в этом отношении Гюйгенс его превосходит. Это глубоко неверно. Позвольте мне совсем кратко остановиться на этом вопросе и им закончить мой доклад.

Ньютон владел волновыми представлениями, доступными тому времени, лучше, чем все другие, в том числе Гук и Гюйгенс. Это он указал Гуку, что если волновая гипотеза была бы верна, то цвета различались бы шириной колебания, т. е. длиной волны. И вообще он отлично знал все тонкости волновой гипотезы, и если он ее отверг, то, как это парадоксально ни звучит, потому, что он ее лучше понимал даже, чем Гюйгенс, а поэтому и лучше видел те непреодолимые препятствия, которые стояли в то время на ее пути.

Ньютон видел три непреодолимых препятствия:

1) Если свет — волновое движение, то должна сопутствовать механическая среда — жидкость, в которой волны распространяются, и она должна заполнять и все мировое пространство. Но тогда движение светил должно встречать сопротивление, которое, однако (согласно законам механики), фактически отсутствует.

2) Отсутствие осевой симметрии в поляризованном луче противоречит волновому движению; другие волны, кроме продольных, по аналогии со звуком, тогда не принимались никем во внимание.

3) Если свет — волновое движение, то он должен огибать, подобно звуку, препятствия, а это никогда, по мнению Ньютона, не наблюдалось. Планета, проходя мимо звезды, ее закрывает.

Гюйгенс, повидимому, не так ясно видел эти противоречия, которые были в то время вполне реальны. Во всяком случае, он тоже не умел их разрешить, но он либо не принимал их близко к сердцу, либо не чувствовал их безысходности.

Таким образом, и Гюйгенс оценивал положение ни в коем случае не лучше, чем Ньютон. Только тут сказалась разница темпераментов. Для Ньютона противоречия, из которых он не видел исхода, были нестерпимы. Гюйгенс не так остро их переживал — на счастье науки, потому что он не дал себя этим противоречиям отвлечь от разработки тех сторон волновой гипотезы, которые сохранились при ее эволюции. А может быть здесь повторилось то, что в истории науки не раз бывало. Какой-то инстинкт подсказывает гению отрешиться от проти-

воречий и идти дальше. Как сказано, это вопрос темперамента. Ньютон этого сделать не мог. Гений Ньютона сверкал другими гранями.

Была ли противоречивой корпускулярная теория Ньютона в его суждении?

На этот вопрос можно дать положительный ответ, но только в том смысле, что хотя не все известные явления нашли себе конкретное объяснение, но Ньютон указал или думал, что можно указать, путь, идя по которому, по его мнению, можно прийти к объяснению; и не было тогда основания считать, что противоречия при этом возникнут. Специальные трудности он испытывал при объяснении приступов легкого отражения. Здесь он остановился на следующем представлении. Когда световые corpusculы падают на тела, то в них они возбуждают волны. Ньютон показывает, что при известном предположении о взаимодействии световых corpuscul с этими волнами наблюдаемые явления, возможно, могут быть объяснены.

Таким образом, гипотеза Ньютона синтезирует корпускулярные волновые представления. Лучшее доказательство того, насколько серьезны были противоречия, заставившие Ньютона отказаться от волновой гипотезы, служит то, что должно было пройти приблизительно 200 лет, пока волновая теория, ценой полной перестройки, от них освободилась.

Только в начале XIX в. Юнг и Френель создали назревшую к этому времени гипотезу о поперечности колебаний света. Благодаря этому отпадало противоречие с поляризацией. Но крепка еще была позиция сторонников Ньютона, в числе которых были Пуассон, Лаплас и Био, которые в это время утверждали, что корпускулярная теория может считаться окончательно доказанной. Чтобы покончить с волновой теорией, они предложили в качестве темы на большой конкурс Парижской Академии Наук проблему диффракции, ожидая, что ее обработка будет окончательным триумфом корпускулярной теории. Несмотря на все препятствия, премировано было, однако, сочинение Френеля, исходившего из волновых представлений о природе света. Замечательные неожиданные качественные и количественные предсказания, правильность которых подтвердилась опытом, помогли им восторжествовать.

Однако первая трудность Ньютона, связанная с необходимостью вещественной среды, заполняющей пространство, не только при этом не была устранена, но, наоборот, казалась еще более непреодолимой. Самые отчаянные усилия делались для ее устранения. Но только в 1864 г. Максвелл, провозгласивший свою электромагнитную теорию, сделал это затруднение, если можно так выразиться, беспредметным (так как надобность в механической среде отпала). Наступил золотой век оптики. Правда, некоторые затруднения со временем возникли, но их не считали особенно опасными для всего здания (оптики) в целом. В этом смысле и опыт Майкельсона не нарушил гармонии.

Гений Эйнштейна внес принцип относительности еще большую общность и элегантность в электромагнитную картину. Но в начале этого века стали множиться открытия, которые заставили пересмотреть все основы. Сегодня у нас есть квантовая оптика — это, несомненно, громадное достижение. Но она имеет внутренние противоречия, исход из которых пока не виден. В ней также речь идет о синтезе corpuscul и волн.

Ввиду этого иногда говорят, что мы приблизились к точке зрения Ньютона, и этим объясняют теперешний повышенный интерес к его исследованиям. Я не думаю, чтобы это было так. Слова действительно похожи, но физическое содержание, которое вкладываем мы теперь в

понятия частицы и волны, совершенно другое, чем то, которое вкладывал Ньютон. Нет, не в этом величие и значение оптических открытий Ньютона.

Современное здание оптики несравненно обширнее, чем оно было во времена Ньютона. Оно еще не закончено, но уже ясно, что архитектурный стиль его совершенно другой, чем при Ньютоне. Как оно будет выглядеть, мы в точности не знаем. Но если мы верим в его будущую крепость, то потому, что оно покоится на прочном фундаменте, краеугольным камнем которого являются бессмертные творения великого Ньютона.
