

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ****ТЕОРИЯ ЦВЕТОВ НЬЮТОНА****М. М. Гуревич**

1. ВВЕДЕНИЕ

История цветоведения почти никак не освещена в нашей литературе. Уже по одному этому она заслуживает внимания и хотя бы краткого рассмотрения.

Основоположителем физико-математического рассмотрения вопросов цвета является Исаак Ньютон, который посвятил ему значительную часть своих оптических исследований.

Теория цветов составляет одно из лучших украшений трудов Ньютона по оптике.

Взгляды Ньютона в области цвета не потеряли своего значения до сих пор и следует думать, что знакомство с ними может служить хорошим началом для многих, желающих ознакомиться с современными представлениями о цвете.

Академику С. И. Вавилову мы обязаны возможностью читать основные оптические произведения Ньютона на русском языке. Однако неподготовленному читателю трудно ориентироваться в работах Ньютона; многое в них кажется поначалу непонятным и их внутренняя связность легко ускользает. Причина такого положения очевидна. Двести пятьдесят лет, прошедшие после опубликования «Оптики» Ньютона, и почти триста лет, отделяющие нас от времени написания его «Лекций по оптике», затянули для нас и время Ньютона и обстановку его работы плотной пеленой времени, за которой теряются не только очертания отдельных деталей, но даже контуры крупных событий.

Со школьной скамьи мы так привыкли к мысли, что белый свет Солнца содержит в себе множество простых, монохроматических лучей, каждый из которых имеет свой собственный цвет, что нам трудно стать на какую-нибудь иную точку зрения и представить себе, какое ошеломляющее впечатление должно было произвести это открытие на современников. Поэтому совершенно естественно, что прежде, чем говорить о цветоведении Ньютона, необходимо остановиться хотя бы вскользь на изложении системы взглядов его предшественников.

2. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ЦВЕТЕ ДО НЬЮТОНА

Сколько-нибудь общепринятой точки зрения на цвета до Ньютона не существовало вовсе. Каждый крупный учёный выдвигал собственную теорию, которая в большинстве случаев не опиралась на экспериментальные результаты и в которой почти всегда можно было заметить отголоски точки зрения Аристотеля, высказанной ещё в IV веке до нашей эры.

Представления Аристотеля о цвете были чрезвычайно туманны. Он считал, что цвет неразрывно связан с прозрачностью среды, через которую глаз видит предметы. Аристотель различает актуальную прозрачность от прозрачности потенциальной, причём вторая превращается в первую под воздействием огня небесных или земных тел. Цвет является движущим началом актуально прозрачного. Всё видимое является цветом. Бесцветные предметы невидимы.

С другой стороны, Аристотель учил, что цвет представляет собой смешение света с темнотой в различных количествах. Свет, имевший с точки зрения Аристотеля небесное происхождение, встречался с темнотой земной материи и в результате возникали соблазнительные в своей пышности цвета, качество которых зависело от количества темноты, примешанной к свету. Простота и наглядность последнего представления обеспечили ему чрезвычайную живучесть.

После того как авторитет Аристотеля был полностью ниспровергнут, его теория цвета продолжала сохранять своё место и значение главным образом потому, что заменить её было нечем. Надо отметить, что в пользу этой теории говорит и простое свидетельство ежедневного опыта, который наглядно демонстрирует, что каждая цветная поверхность всегда темнее, чем расположенная рядом с ней белая.

Точки зрения Аристотеля держался ещё Кеплер, который писал в 1609 г., что цвет представляет собой «свет по возможности» или «свет, скрытый в материи прозрачного». Различие цветов определяется в его представлении различным «расположением» материи прозрачного в отношении света и темноты, соответственно её толщине.

В 1611 г. епископ Антонио де Доминис пытался ввести сюда элемент количественной оценки. Он считал, что если тела, содержащие в себе чистый свет, как звёзды или огонь, теряют по какой-то причине своё сверкание, то они нам кажутся белыми. Если к свету примешать несколько темноты, но не уничтожить при этом весь свет полностью, то возникнут цвета. Огонь потому становится красным, что он связан с дымом, который его затемняет. Солнце и звёзды, приближаясь к горизонту, ослабляют свой свет в промежуточной среде и потому краснеют. Существует три промежуточных цвета: 1) красный — самый светлый из них, 2) зелё-

ный — более тёмный и 3) фиолетовый — самый тёмный. Эти цвета возникают при прохождении света через трёхгранную призму. Свет, прошедший через малую толщину у края призмы, становится яркокрасным, прошедший через среднюю часть — зелёным и прошедший через толстый слой у основания — фиолетовым. Все остальные цвета состояются из этих трёх цветов.

Больше других приблизился к Ньютону в изучении призматических цветов Маркус Марци де Кронланд, опубликовавший свои результаты в 1648 г. в Праге. Он, так же как Ньютон, рекомендует наблюдать призматические цвета в затемнённом помещении, подробно описывает расхождение пучка солнечных лучей после его прохождения через призму, и, подобно Ньютону, связывает появление цветов с преломлением света. Каждому преломлению соответствует свой определённый цвет и различные преломления связаны с разными цветами.

Однако Марци понимал эти явления совершенно не так, как Ньютон. В то время как у Ньютона каждый солнечный луч, упавший на призму, разделяется на всевозможные цветные, Марци считает, что простой луч белого света превращается в тот или иной призматический цвет в зависимости от угла его падения на призму. Лучи, идущие от одного края Солнца, образуют после преломления красный пучок, а лучи, идущие от другого края — фиолетовый.

Повидимому, эти рассуждения заставили в дальнейшем Ньютона поставить специальный опыт с призматическим разложением света от Венеры, которая видна под гораздо меньшим углом зрения, чем Солнце.

Пытаясь объяснить превращение одних белых лучей в красные, а других в фиолетовые, Марци обращает внимание на неодинаковую «конденсацию», как он говорит, света, которая происходит при его преломлении в оптически более плотную среду. Эта различная «конденсация», препятствующая полному развитию его блеска, ведёт к различному самоослаблению, которое наш глаз воспринимает, как различие в цветах. В этом объяснении нетрудно заметить следы древнего аристотелевского взгляда на происхождение цветов, как смеси света с темнотой.

Так, исходя из верных, казалось бы, предпосылок, Марци приходил в конце концов к тому же Аристотелю, хотя и в замаскированном виде.

В 1662 г. появилась работа Исаака Фосса «О природе света». Полагая, что свет не может быть веществом, Фосс считал, что причиной света является огонь, который тоже не имеет в себе ничего вещественного, а является лишь высокой степенью тепла, возникающего благодаря сильным сотрясениям твёрдого тела. Хотя свет и нематериален, но он имеет реальное существование, так же как звуки, запахи, магнитная сила и т. д.

Пустое пространство вполне прозрачно. Тела являются прозрачными в меру количества цвета, которое они содержат. Причиной цвета является сера, содержащаяся во всех телах и принимающая различную окраску в зависимости от степени сгорания. Сначала она кажется зелёной, затем жёлтой, далее красной, потом пурпурной и, наконец, чёрной.

Во взглядах Фосса мы видим, быть может, и естественную смесь передовых идей и старых, уже изживающих себя представлений.

Большой интерес имеют для нас взгляды Декарта (1664 г.). Согласно его представлениям, субстанция, заполняющая всё пространство, состоит из троюкого рода частиц или из трёх элементов. Первый элемент состоит из мельчайших частиц вытянутой формы, второй — из столь же мелких частиц шарообразной формы и третий элемент из более крупных и грубых частиц, представляющих собой совокупности объединившихся частиц первого рода. Внутри каждого светящегося тела частицы первого рода находятся в энергичном движении, результатом которого является давление, производимое ими на сферические частицы. Это давление не вызывает никакого поступательного движения, так как пространство целиком заполнено, но приводит к мгновенной передаче давления (или тенденции к движению) во все стороны и на любые расстояния. Доходя до глаза, это давление — или тенденция к движению — вызывает впечатление света.

Явления цвета Декарт объясняет тем, что при косом падении пучка на поверхность оптически более плотной среды движения шаровых частиц становятся вращательными, а скорость вращения оказывается разной в разных частях пучка. Различная скорость вращения шаров приводит к различным цветам. Наибольшая скорость соответствует красному цвету, наименьшая — фиолетовому.

Из старших современников Ньютона наибольший интерес представляет, несомненно, его соотечественник и частый оппонент — Роберт Гук. Гук исходил из волновых представлений о природе света и первый дал интерференционное толкование цветам тонких пластинок. Несмотря на это, в теории цветов Гука все ещё можно найти влияние старых аристотелевых идей о взаимодействии света и темноты.

Гук (1665 г.) считал, что преломление света в оптически более плотную среду сопровождается увеличением скорости распространения волны. Отсюда он приходит к представлению, согласно которому преломление сопровождается изменением угла между лучом и поверхностью волны. В однородной среде, где свет распространяется во все стороны с одинаковой скоростью, лучи оказываются перпендикулярными к сферической волне, которая на больших расстояниях от источника делается плоской. В этом случае, считает Гук, мы наблюдаем белый свет. Окрашивание света, наблюдаемое при преломлении луча, падающего косо на поверхность раздела, Гук связывает прежде всего с изменением угла между лучом и по-

верхностью волны, который при переходе в более плотную среду делается острым (рис. 1). Однако это обстоятельство ещё не создаёт цветности луча, которую Гук объясняет следующим образом. Если (рис. 2) два луча, идущие от краёв солнечного диска, падают на поверхность воды в сосуде, то цветовое различие крайних лучей после преломления связано с тем, что они граничат с темнотой.

Темнота, находящаяся рядом с крайними лучами, ослабляет и тормозит их, в то время как, с другой стороны, они соприкасаются не с темнотой, а с остальными лучами, которые, двигаясь вместе с крайними, не могут тормозить и ослаблять их в такой же мере. При этом воздействие темноты на крайние лучи, ограничивающие преломлённый пучок, будет различно из-за того, что с одного края тормозится та часть волны, которая идёт впереди, а с другой — та, которая остаётся сзади.

В первом случае, считает Гук, глаз воспринимает фиолетовый цвет, во втором — красный. Все остальные цвета спектра, лежащие между ними, получаются смешением этих двух крайних или основных цветов.

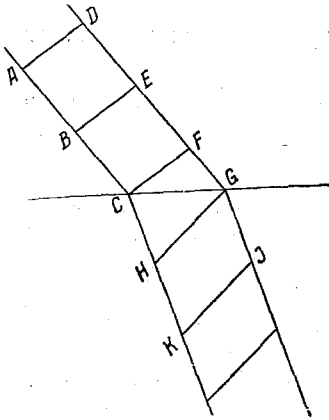


Рис. 1. Изменение фронта волны при преломлении согласно представлениям Гука.

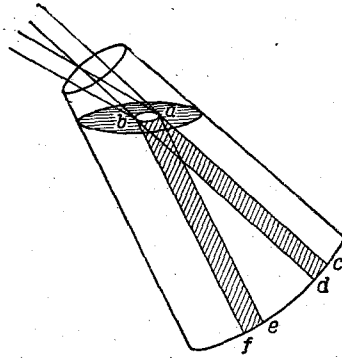


Рис. 2. Образование спектра при преломлении по Гуку.

Таким образом, во всех перечисленных теориях цвета мы видим большое разнообразие порой весьма остроумных гипотез о существе явления.

В основу каждой теории положено то или иное произвольное допущение, которое автор считает нужным привлечь для объяснения наблюдаемых явлений.

Многочисленность самих теорий красноречивее любых других доказательств свидетельствует о том, что ни одна из них не получила серьёзного распространения. Вместе с тем, число теорий говорит и о том, с какой настойчивостью и энергией лучшие умы искали решения этой интереснейшей и «бросающейся в глаза» загадки ежедневного опыта.

Для времени, предшествующего началу работ Ньютона, положение можно характеризовать, например, тем, что учитель Ньютона Исаак Барроу ведёт изложение природы цвета только очень кратко, в весьма осторожной и скептической форме. «Поскольку зашла речь о цветах, — пишет он в своих «Лекциях», — нужно (по обычаю и порядку) немножко погадать и о них».

Такой осторожный учёный, как Роберт Бойль, перечисляет в своём сочинении «Опыт и рассуждения о цветах» (1665 г.) все существующие взгляды на природу цвета и предоставляет читателю самому выбрать тот, который ему больше нравится. Сам он соглашался считать, что «природа погребла эти, так же как и другие, явления в глубокой тьме человеческого неведения». Столь пессимистический взгляд на возможность раскрытия сущности цвета явился естественным следствием длительных неудач науки в этой области.

Понятно, что такое положение требовало изменения. Однако понадобился гений молодого Ньютона для того, чтобы найти верный путь и дать простую разгадку этой, казалось бы, неразрешимой проблеме.

3. ТЕОРИЯ ЦВЕТОВ НЬЮТОНА

Ньютон изложил свою теорию цвета в двух местах: в книге «Лекции по оптике», написанной им в 1669—1671 гг. в Кэмбридже и изданной только после смерти автора в 1729 г., и в «Оптике», изданной в 1704 г. *).

«Лекции по оптике» состоят из двух частей: первая из них называется «О преломлении лучей света», вторая — «О происхождении цветов». Хотя в предисловии к «Оптике» Ньютон рекомендует её как окончательное своё мнение по вопросу преломления и сложения цветов, многие замечания, сделанные молодым исследователем в его «Лекциях» (в 1669 г. Ньютону было 27 лет), представляют для нас очень большой интерес, так как в них чувствуется связь излагаемого с задачами практики и явно высказаны возражения Ньютона его предшественникам.

*) Обе книги переведены на русский язык академиком С. И. Вавиловым. «Оптика» И. Ньютона издана в 1927 г. Государственным издательством в Москве в серии «Классики естествознания» к двухсотлетию со дня смерти Ньютона. «Лекции по оптике» выпущены Издательством Академии наук СССР в 1946 г. в серии «Классики науки». Все дальнейшие цитаты из этих книг сделаны по переводам С. И. Вавилова.

Трудно не процитировать первой фразы, которой Ньютон начинает свои «Лекции». Устанавливая впервые различную преломляемость лучей, входящих в состав солнечного света, Ньютон пишет: «Недавнее изобретение телескопов столь изощрило большинство геометров, что в оптике, кажется, не осталось ничего неиспытанного и нет места для новых изобретений».

Вторая часть «Лекций» также начинается с рассуждений о телескопах, которые несомненно и были главной причиной интереса Ньютона к оптике. «Занимающиеся телескопами, — пишет он, — жалуются на цвета, которые обычно окрашивают предметы, наблюдаемые посредством стекол. Окраска эта тем больше и заметнее, чем из меньших сфер сделано окулярное стекло или чем с большей шириной открывается для входящих лучей объективное стекло. «Поскольку теперь главные желаемые улучшения в перспективах»), — продолжает Ньютон, — суть такие, которые позволили бы увеличить предметы больше и делать их ярче, постольку стоит потрудиться над исследованием природы цветов, чтобы выяснить причину их появления и неотчётливости, вносимой ими в предметы».

Ньютон вступает далее в резкую полемику со своими предшественниками, начиная от сторонников взглядов Аристотеля (перипатетики) и кончая своими современниками, имён которых он, впрочем, не называет. Следует заметить, что цитируемое далее место является одним из очень немногих, где Ньютон в явной форме критикует чужие мнения и высказывает свои суждения. Этим оно интересно в особенности.

«Учившие о цветах до сих пор, — пишет он во введении ко второй части «Лекций», — делали это либо как перипатетики, либо стремились исследовать природу их и причины, как эпикурейцы и другие более новые авторы. То, что передавалось о цветах перипатетиками, если и верно, то не имеет никакого значения для нашей цели, ибо не касалось ни способа, коим цвета возникают, ни причин их разнообразия... Итак, они пропускали то, объяснение чего есть высшее дело философов и что единственно может удовлетворить разум, жадный до естественной науки... Говорят также, что у некоторых цветов примешано больше белого, чем у других, но этого недостаточно для их получения, ибо никакого цвета не возникает из белизны и черноты, смешанных вместе, кроме промежуточных тёмных, и количество света не меняет вида цвета. Красное же тело, для примера, кажется всегда красным, как в сумерках, так и в ярчайший полдень».

«Далее, даже само определение, которое перипатетики приписывают цветам, настолько не соответствует природе их, что даже

*) Перспективами в XVII и XVIII веках иногда назывались телескопы.

по названию их не выражает. Аристотель утверждает: „Цвет же есть поверхность ограниченного прозрачного тела“. Это скорее описание цветной поверхности, чем цвета... Но часто видны цвета, где нет никакой такой границы, как в радуге и призме, в стёклах и жидкостях, слегка окрашенных каким-либо цветом, в морской воде, которая часто кажется зелёной и порождает цвета не на границе воды, но во всей её толщине, в воздухе, который особо прозрачен и не ограничен никаким плотным телом, однако в ясную ночь кажется синим, и в пламени, не менее ясном и пронизаемом для света, чем воздух»...

Возражения, которые Ньютон выдвигает против древних авторов, сводятся, как мы видим, к тому, что их умозрительные суждения никак не связаны с данными научного опыта и опираются только на рассуждения, ничего не говорящие о причинах физического различия цветов или об их происхождении. Естественно, что отсюда нельзя ничего почерпнуть и для объяснения цветов, появляющихся в телескопах.

Переходя к рассмотрению мнений более новых авторов, Ньютон пишет далее: «Что касается мнения других философов, то они утверждают, что цвета рождаются либо от различного смешения тени со светом, либо от вращения шаров либо их разного давления, либо, наконец, от различных способов колебания некоторой эфирной среды, если считать свет получающимся от импульса колеблющейся среды, распространяющегося в сетчатой ткани. Мне пришлось бы распространяться очень долго, если бы я стал опровергать эти мнения по отдельности. Я не буду этого делать, так как все сходится в общей ошибке, именно в том, что модификация света, проявляющего отдельные цвета, не свойственна ему по происхождению его, а приобретается при отражении или преломлении».

«До падения на какое-нибудь окрашенное тело, считают они, лучи света ничем не отличаются, а по предрасположению этого тела они отражаются или преломляются различными способами и соответственно роду модификации, приобретаемой при этом, они проявляют затем смотрящему различные фантазмы цвета. Смешение света и тени, вращение шаров либо различные колебания среды не предполагаются присущими лучам до их отражений и преломлений; считают, что они порождаются самими этими действиями. Также и перипатетики выводят происхождение цветов из тел, коих, утверждают они, цвета являются качествами. Насколько, однако, это противоречит истине, явствует с избытком из последующего. Я же нашел, что модификация света, от которой происходят цвета, врождена свету, а не происходит при отражении или преломлении, или из качеств тел, или каким-либо иным образом и не может быть разрушена или каким-либо способом изменена».

Изложив затем в сжатой форме свои основные открытия в области цвета, Ньютон продолжает:

«Я не вижу препятствий для того, чтобы приступить к исследованию природы цветов, в которой ничто не считалось относящимся к математике».

«Так же как астрономия, география, мореплавание, оптика и механика, — пишет он далее, — почитаются науками математическими, ибо в них дело идёт о вещах физических, небе, земле, кораблях, свете и местном движении, точно так же и цвета относятся к физике, и науку о них следует почитать математической, поскольку она излагается математическими рассуждениями. Точная наука о цветах относится к труднейшим из тех, кои желательны были бы философу».

Так решительно извлекает Ньютон науку о цвете из области ни на чём не основанных домыслов и переносит её в такую область математики, которую он сам причисляет к разряду труднейших. Если принять во внимание, что теорией цвета после Ньютона занимались последовательно такие учёные, как М. В. Ломоносов, Юнг, Гельмгольц, Грассман, Максвелл и Шредингер, причём они не смогли исчерпать её внутреннего содержания, то надо поражаться необычайной прозорливости Ньютона.

Изложение той же теории цветов в более поздней, более зрелой и значительно более сухой «Оптике» носит уже совсем другой характер. Здесь нет той острой полемической формы, которая так выделяла изложение «Лекций» — первого учёного труда Ньютона. «Оптика» построена в гораздо более строгом стиле. Она начинается с восьми определений, указывающих, как надо понимать те термины, которыми Ньютон пользуется в книге. Далее следуют аксиомы. В восьми аксиомах Ньютон излагает основные данные оптики, добытые наукой до него. Далее идут «Предложения», «Теоремы», «Наблюдения», «Задачи» и «Опыты», в форме которых Ньютон излагает результаты своих экспериментов и выводы из них.

Цвет положен в основу построения всей книги. Первое предложение, представляющее собой исходный пункт изложения, говорит о связи между цветом и преломлением. Оно сформулировано так:

«Лучи, отличающиеся по цвету, отличаются и по степени преломляемости».

Это предложение доказывается двумя опытами.

В первом из них Ньютон наблюдает через призму полоску картона, одна половина которой окрашена в красный, а другая — в синий цвет. Полоска картона через призму кажется смещённой, причём синяя половина смещается сильнее, чем красная. Вторым опытом Ньютон установил, что линза, которая даёт изображение той же полоски картона, собирает синие лучи на несколько более коротком расстоянии, чем красные. В этом опыте он впервые описал хроматическую аберрацию линзы так, как мы её понимаем теперь.

Вторая часть первой книги целиком посвящена теории цвета. И вот, несмотря на строгую форму изложения книги, рассмотре-

ние вопросов цвета начинается с предложения, имеющего полностью отрицательный характер и посвящённого опровержению ошибочных взглядов предшественников:

«Явления цветов в преломлённом и отражённом свете не вызываются какими-либо новыми модификациями света, производимыми различным образом, соответственно различным границам света и тени».

Предложение доказывается четырьмя опытами. Для того чтобы продемонстрировать тонкость, остроумие и убедительность экспериментальных доказательств Ньютона, приведём два из них в том виде, как они даны автором.

«Опыт 1. Пусть солнце светит внутрь очень тёмной комнаты через удлиненное отверстие F (рис. 3), ширина которого шестая или восьмая часть дюйма или несколько меньше, и пучок света FH проходит после этого сначала через очень большую призму ABC на расстоянии около 20 футов от отверстия, поставленную парал-

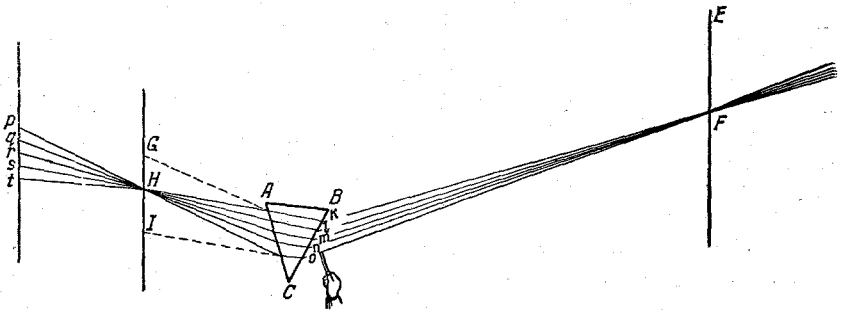


Рис. 3. Схема опыта Ньютона, доказывающего, что цвет не меняется от границы с темнотой.

лельно отверстию; затем (своей белой частью) свет идёт через удлиненное отверстие H , ширина которого около четвертой или шестой части дюйма и которое сделано в чёрном непрозрачном теле GI и помещено на расстоянии двух или трёх футов от призмы в параллельном положении к призме и к первому отверстию; белый свет, пропускаемый таким образом через отверстие H , падает после того на белую бумагу pt , помещённую за щелью H на расстоянии трёх или четырёх футов от неё, и отбрасывает на неё обычные цвета призмы: положим красный — в t , жёлтый — в s , зелёный — в r , синий — в q и фиолетовый — в p ; тогда железной проволокой или каким-нибудь другим подобным тонким тёмным предметом, ширина которого около десятой части дюйма, можно, задерживая лучи при k , l , m , n или o , заставить исчезнуть один из цветов при t , s , r , q

или p , в то время как остальные цвета остаются на бумаге по-прежнему; при помощи несколько более широкого препятствия можно извлечь два или три, или четыре цвета вместе и оставить остальные. Таким образом, любой цвет, так же как фиолетовый, может стать крайним на границе тени у p , и любой цвет может стать крайним, как красный, на границе тени у t ; каждый из них может также граничить с тенью, полученной между цветами при задержании препятствием некоторой промежуточной части света, и, наконец, каждый из цветов, оставшись одним, может ограничиваться тенью с двух сторон. Все цвета относятся безучастно к любым границам тени, и потому различие цветов одного от другого не происходит от различных границ тени, вследствие чего свет видоизменялся бы различным образом, как думали до сих пор философы».

Можно предположить, что основной замысел этого опыта состоял в опровержении взглядов Гука, который, как мы видели, считал соприкосновение преломлённого пучка с темнотой основной причиной образования фиолетового цвета, с одной стороны, и красного — с другой*). Если бы теория Гука была верна, то появление тёмной полосы посредине спектра pt должно было бы повести не только к исчезновению, например, зелёного цвета в r , но ещё и к тому, что оставшиеся части спектра должны были бы превратиться в два самостоятельных, более коротких спектра с фиолетовыми цветами сверху и красными снизу. Во всяком случае, введение одной или даже нескольких тёмных полос в спектр должно было бы вызывать изменение оставшихся цветов, связанное с изменением соотношений света и темноты. Между тем опыт показал полную независимость цветов спектра от соседства света или тени, чем взгляды Гука следовало считать полностью опровергнутыми.

Второй опыт, описанный Ньютоном с той же целью, демонстрирует, что, с другой стороны, изменение цвета может быть наблюдаемо без малейшего участия границ света и тени.

«Опыт 2. Солнечный свет, пропускаемый в тёмную комнату через круглое отверстие F (рис. 4) шириной в полдюйма, проходил сначала через призму ABC , помещённую около отверстия, и затем через линзу PT , шириной несколько больше четырёх дюймов, находящуюся на расстоянии около восьми футов от призмы; далее свет сходил в O — фокусе линзы — на расстоянии около трёх футов от неё и здесь падал на белую бумагу DE . Если бумага была перпендикулярна к этому падающему на неё свету, как пред-

*) Высказанное предположение находит некоторое подтверждение в том, что в «Лекциях», написанных в годы, предшествовавшие столкновению Ньютона с Гуком, этого предположения и соответствующих опытов не содержится. К тому же «Оптика» Ньютона издана в 1704 г., а Гук умер в 1703 г.

ставлено положением DE , то все цвета на бумаге у O казались белыми. Но если бумага поворачивалась вокруг оси, параллельной призме, делаясь весьма наклонной к свету, как представлено положениями de и $\delta\varepsilon$, то тот же свет в одном случае казался жёлтым и красным, в другом — синим. Здесь одна и та же часть света в одном и том же месте, соответственно различным наклонам бумаги, казалась в одном случае белой, в другом — жёлтой или красной, в третьем — синей, хотя граница света и тени и преломления призмы оставались теми же самыми во всех случаях».

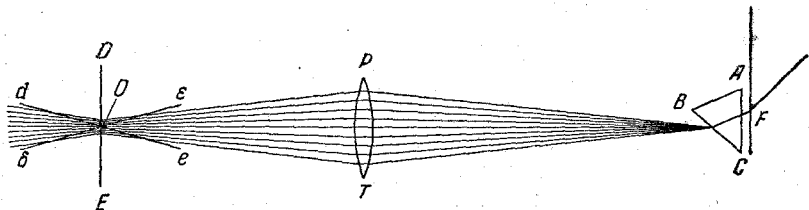


Рис. 4. Схема опыта Ньютона, показывающего, что цвет может изменяться при изменении угла падения пучка на поверхность.

Дальше Ньютон поясняет, почему наблюдаются эти изменения цвета, происходящие при наклоне освещаемой поверхности. Он указывает, что лучи, менее наклонённые, сильнее освещают поверхность, чем лучи, более наклонённые к поверхности. Следует принять во внимание, что это было напечатано за 25 лет до появления первого сочинения Бугера о градации света и почти одновременно с рассуждениями французского монаха Франсуа Мари о возможности измерять свет.

Нет необходимости цитировать Ньютона дальше. Третий опыт является видоизменением второго, четвёртый излагает наблюдения над цветами «мыльных пузырей, с которыми играют дети» и появление которых также не связано с какими-либо границами света и тени или преломлением света.

Предложение II, являющееся по существу первым положительным утверждением в области теории цветов, выражает тот факт, который сам Ньютон считал, повидимому, наиболее существенным и основным. Это предложение формулируется следующим образом:

«Всякий однородный свет*) имеет собственную окраску, отвечающую степени его преломляемости, и такая окраска не может изменяться при отражениях и преломлениях».

*) В определении VII, предпосланном всей книге, Ньютон говорит: «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 разновидным».

Второе предложение Ньютон доказывает двумя опытами, из которых один говорит о неизменности цвета при произвольном преломлении, а другой — о неизменности цвета при отражении.

Такого рода неизменность цвета излучения при отражениях или преломлениях решительно свидетельствует против любых представлений о «модификации» света, происходящей под влиянием материи, с которой лучи приходят во взаимодействие.

«В однородном свете любой окраски, — пишет Ньютон, — все тела казались в точности того же самого цвета, с той только разницей, что некоторые из них отражали этот свет более сильно, другие более слабо. Я, однако, никогда не находил тела, которое при отражении однородного света меняло бы заметно его цвет».

«Из всего этого явствует, — заключает Ньютон, — что если бы солнечный свет состоял из одного только сорта лучей, во всем мире был бы только один цвет, и нельзя было бы получить какой-нибудь новый цвет посредством отражений и преломлений; следовательно, разнообразие цветов зависит от сложности света».

Следует заметить, что хотя явление спектрального разложения света наблюдалось задолго до Ньютона, но Ньютон первый понял и расшифровал его, т. е. показал, что целый ряд свойств лучей света, и в первую очередь их цвет, зависит от степени их преломляемости. В дальнейшем, с развитием волновых представлений, степень преломляемости была заменена длиной волны.

Установив главный факт в области своей теории цвета, Ньютон прерывает изложение определением, которое должно пояснить, какое содержание вкладывает он в слова «цвет» или «окрашенные лучи». Это определение дано в такой форме.

«Однородный свет и лучи, кажущиеся красными или, скорее, заставляющие предметы казаться таковыми, я называю создающими красный цвет; лучи, заставляющие предметы казаться жёлтыми, зелёными, синими или фиолетовыми, я называю создающими жёлтый, создающими зелёный, создающими синий, создающими фиолетовый цвет, и так же по отношению к остальным. И если иногда я говорю о свете или лучах, как окрашенных или имеющих цвет, то не следует понимать, что я говорю философски и точно, — я выражаюсь грубо и в соответствии с теми представлениями, которые может получить простой народ, видя все эти опыты. Ибо лучи, если выражаться точно, не окрашены. В них нет ничего другого, кроме определённой силы или предрасположения к возбуждению того или иного цвета. Ибо, как звук колокольчика, или музыкальной струны, или других звучащих тел есть не что иное, как колебательное движение, и в воздухе от предмета распространяется не что иное, как это движение, вызывающее в чувствительце (*sensorium*) ощущение такого движения в форме звука, так же и окраска предмета является не чем иным, как предрасположением

распространять то или иное движение в чувствилище, в последнем же появляется ощущение этих движений в форме цветов».

Эти замечания Ньютона можно рассматривать как строго материалистическое определение цвета. Действительно, Ньютон утверждает, что лучи, различающиеся физически по своей преломляемости (другие различия ему известны не были), действуя на органы зрения, вызывают в них разные реакции, воспринимаемые нами в форме различных цветов.

Силой гения Ньютон преодолел свидетельство своих собственных восприятий, которые убеждают каждого в том, о чём со времён Аристотеля твердили учёные: а именно: цвет есть свойство наблюдаемого объекта. Ньютон пришёл к выводу, что цвет есть наше ощущение; определяемое составом попадающего в глаз лучистого потока.

Нетрудно видеть, что точка зрения Ньютона на природу цвета совпадает со взглядами, высказанными В. И. Лениным в «Материализме и эмпириокритицизме», где можно прочесть *):

«Если цвет является ощущением лишь в зависимости от сетчатки (как вас заставляет признать естествознание), то, значит, лучи света, падая на сетчатку, производят ощущение цвета. Значит, вне нас, независимо от нас и от нашего сознания существует движение материи, скажем, волны эфира определённой длины и определённой быстроты, которые, действуя на сетчатку, производят в человеке ощущение того или иного цвета. Так именно естествознание и смотрит. Различные ощущения того или иного цвета оно объясняет различной длиной световых волн, существующих вне человеческой сетчатки, вне человека и независимо от него. Это и есть материализм: материя, действуя на наши органы чувств, производит ощущение» **).

Далее Ленин ещё отчётливее говорит, что цвет есть ощущение, т. е. продукт особым образом организованной материи наших органов чувств. На стр. 45 той же книги написано: «...цвет есть результат воздействия физического объекта на сетчатку = ощущение есть результат воздействия материи на наши органы чувств».

Вернёмся, однако, к теории цветов.

*) В. И. Ленин, Соч., т. 14, 4-е изд., Госполитиздат, 1947, стр. 43.

***) Прекрасным подтверждением зависимости цветового восприятия от строения зрительного аппарата являются хорошо известные случаи аномалии цветового зрения, при которых цветовые восприятия человека, обладающего глазом, вполне нормальным во всех иных отношениях, существенно отличаются от цветовых восприятий громадного большинства. Иногда аномалия проявляется в том, что человек не видит, например, красных ягод земляники среди зелёной травы или не может отличить красного огня светофора от зелёного. Необходимость обеспечить безопасность транспорта заставляет принять ряд серьёзных мер по выявлению такого рода аномалий в строении глаз людей, овладевающих профессией машиниста или шофёра.

Установив соответствие между цветом однородного (монокроматического) света и его преломляемостью, установив, кроме того, неизменность цветов при любых отражениях и преломлениях, Ньютон естественно должен поставить вопрос о том, какие же цвета могут получиться при смешении однородных цветов в различных комбинациях и в различных пропорциях. Ответам на эти вопросы посвящены предложения IV и V. В первом из них показано прежде всего, что путём смешения однородных лучей можно получить цвета, подобные «по видимости» цветам некоего однородного света, но не подобные ему в отношении неизменности при преломлении. Смешивая однородный жёлтый с однородным красным, можно получить оранжевый цвет, похожий по виду на оранжевый цвет однородных лучей. Однако при наблюдении через призму смесь разлагается на составные части, а однородный свет остаётся без изменения.

При смешении однородных лучей могут также получаться цвета, не похожие на цвета однородного света. Интересно отметить следующее место «Оптики».

«Таким образом, если к цвету какого-либо однородного света прибавить белого солнечного света, составленного из всех сортов лучей, то цвет не исчезнет и не изменит своего характера — он только растворится; при дальнейшем прибавлении белого он будет растворяться всё более и более. Наконец, если перемешать красный с фиолетовым, то, соответственно различным пропорциям их, будут получаться различные пурпур, не похожие по виду ни на один из цветов однородного света; из смеси этих пурпуров с жёлтым и синим можно получить другие новые цвета». («Оптика», стр. 108.)

Предложение V, опирающееся на семь опытов, направлено к доказательству сложного строения белого света солнца. В процессе этого доказательства Ньютон складывал цвета оптически, налагая различные излучения друг на друга и затем снова разлагая их тем или иным приёмом. Он складывал цвета и путём смешения цветных порошков. И хотя Ньютон не мог не заметить большого различия этих двух методов сложения цветов, но он почему-то не установил, что результаты их часто противоречат друг другу. Он пишет, например: «...пытаясь составить белый цвет смешением цветных порошков, применяемых художниками, я заметил, что все цветные порошки подавляют и удерживают в себе весьма значительную часть света, которым они освещаются». И далее: «Поэтому, смешивая такие порошки, мы не можем ожидать столь сильного и полного белого цвета, как от бумаги, — цвет будет несколько сумрачным, как при смешении света и темноты или белого и чёрного, т. е. серым, коричневатым или рыжевато-бурым, каков цвет человеческих ногтей, мышей, пепла, обыкновенных камней, пыли и грязи на больших дорогах и тому подобного».

Не заметив принципиальной разницы между сложением лучистых потоков и смешением цветных порошков*), Ньютон приходит, тем не менее к верным заключениям. Обосновав одно из главных положений своей теории цвета, состоящее в признании сложности состава белого солнечного света, Ньютон выбивает почву из-под ног всех прежних теорий, которые искали объяснения цвета в тех или иных модификациях (изменениях) простого с их точки зрения света солнца, происходящих при отражениях и преломлениях и вносящих в природу падающего света нечто такое, чего там не было первоначально.

Здесь намечаются и пути дальнейшего развития ньютоновской теории. Если белый свет солнца содержит в себе все цвета однородных излучений, если, кроме того, цвета этих излучений не меняются никакими преломлениями или отражениями, а единственно что меняется это количество того или иного однородного света в смеси, то естественно вырисовывается возможность предсказания цвета, если известен состав излучения. Но как можно выполнить такой расчёт, из всех этих предпосылок ещё совершенно не видно. «Оптика» не содержит никаких указаний на те пути, которыми теория Ньютона подошёл к решению задачи. Предложение VI, которое её ставит и решает, составлено так:

«В некоторой смеси первичных цветов даны количество и качество каждого из них. Найти цвет смеси».

Исходя из явно неверных предположений о каких-то связях между цветами спектра и семью тонами музыкальной гаммы, пользуясь смешением порошков как сложением излучений, Ньютон дал метод расчёта цвета смеси, которым он опередил своё время по меньшей мере на 150 лет.

Только в 1853 г. Грассман сумел расшифровать начала, которые лежат в основе графического метода Ньютона, и только в 1854 и 1855 гг. Гельмгольц и Максвелл смогли дать методу Ньютона экспериментальное подтверждение.

Самый метод состоит в следующем. Все цвета, на которые призма разлагает белый свет Солнца, располагаются вдоль окружности. Призматический спектр содержит семь цветов: красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, синий, индиго и фиолетовый. Каждому из них отводится часть окружности в соответствии с семью музыкальными тонами, содержащимися в октаве. Дуга DE (рис. 5) представляет красный цвет, дуга EF — оранжевый, дуга FG — жёлтый, и т. д., дуга CD — фиолетовый. Эти цвета надо представлять себе, подобно призматическим цветам, постепенно

*) В первом случае действительно складываются излучения, а во втором имеют место гораздо более сложные явления, при которых правильнее было бы говорить не о сложении излучений, а о сложении поглощений. Впервые это различие было описано Гельмгольцем в 1852 г.

переходящими один в другой. Между точками D и E находятся все степени красного, в E — средний цвет между красным и оранжевым, от E до F — все степени оранжевого, в F — средний между оранжевым и жёлтым и т. д. Пусть, — пишет Ньютон, — p будет центр тяжести дуги DE , q, r, s, t, v, x — соответственно центры тяжести дуг EF, FG, GA, AB, BC и CD ; опишите вокруг этих центров тяжести круги, пропорциональные числу лучей каждого цвета в данной смеси, т. е. круг p , пропорциональный числу лучей в смеси, создающих красный цвет, круг q , пропорциональный числу лучей в смеси, создающих оранжевый цвет, и так далее по отношению к остальным. Найдите общий центр тяжести всех этих кругов p, q, r, s, t, v, x . Пусть этот центр будет z ; из центра круга ADF через z к окружности проведите прямую линию OY : место точки Y на окружности будет показывать цвет, возникающий от сложения всех цветов данной смеси, линия же Oz будет пропорциональной полноте или интенсивности цвета, т. е. его расстоянию от белизны. Так, если Y падает посредине между F и G , смешанный цвет будет наилучшим жёлтым, если Y отклоняется от середины по направлению к F или G , то смешанный цвет будет соответственно жёлтым, склонным к оранжевому или зелёному.

Если z находится на окружности, окраска будет интенсивной и цветущей в высшей степени; если z находится посредине между окружностью и центром, окраска будет наполовину менее интенсивной, т. е. того цвета, который получается растворением наиболее интенсивного жёлтого равным количеством белого; если z находится в центре O , то окраска потеряет всю свою интенсивность и станет белой» *).

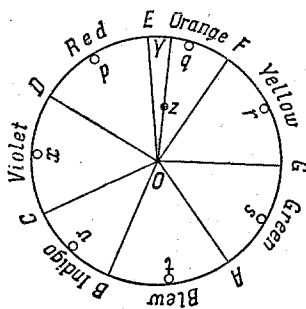


Рис. 5. Цветовой круг Ньютона. Спектральные цвета располагаются по окружности, в центре которой лежит белый цвет. Крайний красный совпадает с крайним фиолетовым.

*) В книгах и статьях, опубликованных около 20 лет назад, по которым училось цветоведению большое число лиц и которые написаны, вообще говоря, с хорошим знанием дела, Н. Д. Нюберг допустил ошибку, утверждая, что графическое изображение цветов с помощью треугольника «было впервые использовано знаменитым физиком Ньютоном и поэтому носит его имя». Н. Д. Нюберг, Курс цветоведения, Гизлегпром, 1932, стр. 45). Как видно из предыдущего изложения, все указания на «треугольник Ньютона» следует считать неверными.

Для уровня наших познаний в области истории цветоведения характерно не только появление такой ошибки, но также и то, что за 20 лет никто, насколько известно, не обратил внимания на это недоразумение.

Можно добавить, что Грассман, писавший во второй половине XIX века, также пользовался кругом Ньютона, хотя мог знать о цветовом треугольнике, данном Юнгом (в начале века) в его «Лекциях по физике».

Если в этом отрывке заменить некоторые термины, то изложение основных свойств цветового графика не будет отличаться от современного. Действительно, точка, в которой прямая пересекает линию спектральных цветов, характеризует то, что в настоящее время принято называть цветовым тоном. «Полнота или интенсивность цвета», измеряемые расстоянием Oz , вполне аналогичны тому, что мы называем чистотой или насыщенностью, а «тяжесть», «вес» или «количество лучей», которыми Ньютон измеряет количество цвета, вполне совпадает с тем, что в ряде случаев принято называть модулем цвета.

Легко видеть, далее, что если количество спектрального цвета определяется по Ньютону его «весом» или «количеством лучей», то качество цвета задаётся положением соответствующей точки на графике. Таким образом, цвет определяется тремя независимыми числами: двумя координатами положения точки на плоскости и одним числом, определяющим его количество. Трёхмерность цвета следует поэтому считать установленной ещё Ньютон.

Часто говорят о семи основных цветах Ньютона, противопоставляя их трём цветам более поздних теорий. Однако эти семь цветов, появившиеся у Ньютона в результате ошибочной аналогии со звуковыми явлениями, не помешали ему представить все качественные различия цветов совокупностью точек на плоском графике, а, например, не в пространстве, и свести всё разнообразие цветов к множеству трёх, а не большего числа измерений, для чего 7 основных цветов давали, казалось бы, много оснований.

Легко понять, что сколько бы главных цветов ни наметил Ньютон в спектре — семь, восемь или больше, но, суммируя их по предложенному им правилу центра тяжести, он находит всегда один общий центр на плоскости графика, что, как уже было отмечено, неизбежно ведёт к трёхмерности цвета, которая лишь поверхностно маскируется семью цветами солнечного спектра.

Между тем сейчас почему-то принято считать, что трёхмерность цвета установлена Грассманом.

Второй закон смешения цветов, который также принято приписывать Грассману, утверждающий, что непрерывному изменению состава излучения соответствует и непрерывное изменение цвета, также является непосредственным следствием приёма отыскания центра тяжести, описанного Ньютон.

Если распространить на сложные цвета правило сложения, указанное Ньютон для простых, то и третий закон смешения цветов, устанавливающий независимость смеси от спектрального состава смешиваемых компонент, придётся считать простым следствием всё того же приёма отыскания центра тяжести.

Трудно понять, каким образом мог Ньютон, начавший построение своей теории цвета с опровержения воззрений Аристотеля, дойти до формулировки предложения, заключающего в себе все

главные положения того, что мы называем низшей метрикой цвета, на дальнейшее развитие которой человечество затратило почти два с половиной века. Нельзя упускать из вида, что основой для Ньютона могли служить только выполненные им самим опыты, для проведения которых он располагал лишь самыми элементарными, можно сказать, наивными средствами. Совершенно очевидно, что не только колориметрических, но даже простейших фотометрических приборов Ньютон иметь не мог.

Единственно, чего нехватает теории Ньютона — это закона сложения «весов» или «количеств лучей», хотя простое суммирование напрашивается даже из механической аналогии. Тем не менее, Ньютон не счёл возможным дать какое-либо указание о количестве цвета, получающегося в результате сложения заданных количеств однородных составляющих.

В этой связи следует добавить, что сам Ньютон не считал правило центра тяжести вполне точным. «Я считаю, — пишет он в заключение предложения VI, — это правило достаточно точным для практики, однако неточным математически...».

И, наконец, предложение VII, подводящее итог всему сказанному ранее, составлено Ньютоном так:

«Все цвета вселенной, создаваемые светом и не зависящие от силы воображения, будут либо цветами однородного света, либо смешанными из них, причём они будут смешиваться точно или почти точно по правилу предыдущей задачи».

Повторив вкратце добытые результаты, Ньютон устанавливает то основное положение, что цвет определяется только составом входящих в него однородных, простых лучей. «И поэтому, если спрашивается, какова причина какого-нибудь цвета, то нам следует только рассудить, каким образом лучи солнечного света отделились одни от других или смешались при отражениях, преломлениях или благодаря другим причинам: иными словами, нужно найти сорта лучей, из которых составлен данный цвет, и пропорции их и затем при помощи последней задачи найти цвет, который должен произойти при смешении этих лучей (или их цветов) в этой пропорции».

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заканчивая на этом изложение теории цветов Ньютона, мы, естественно, должны поставить перед собой несколько вопросов. Действительно, почему трёхмерность цвета считается открытой в 1853 г. Грассманом, который в отношении законов смешения не вышел по существу за рамки комментирования того, что сделал Ньютон в 1704 г.? Почему непрерывность цвета и возможность сложения цветов независимо от их спектрального состава также приписывается Грассману, хотя и то и другое является простым следствием

возможности сложения цветов по правилу центра тяжести? Почему Грассман сделал больше, чем Ньютон, если он, не произведя ни одного опыта и исходя из работ Ньютона, изложил в более явной форме ряд положений, на которых базируется правило центра тяжести Ньютона?

Трудно угадывать истинные причины тех или иных исторически сложившихся заблуждений. Можно только предположить, что результаты, добытые Ньютоном, не были по достоинству оценены не только его современниками, но и рядом последующих поколений. Можно думать, что Грассман был одним из первых, кто полностью понял Ньютона. Даже Гельмгольц в своей работе 1852 г. не посчитался со старыми результатами Ньютона, указав, что в спектре имеется только одна пара дополнительных цветов — жёлтый и индиго. Это утверждение и вызвало возражение со стороны Грассмана, который воспользовался случаем (1853 г.) для систематического развития основ ньютонова метода, применив к нему найденный им прежде (в его работе «Учение о протяжённости» — «Ausdehnungslehre») векторный метод отыскания центра тяжести.

Не следует, конечно, преуменьшать роли Грассмана в истории цветоведения. Расшифровав математические основы геометрического построения Ньютона, которое сам Ньютон не считал вполне точным, Грассман укрепил в умах современников логическую необходимость ряда следствий, вытекающих из представлений Ньютона, и направил по верному руслу работу таких учёных, как Гельмгольц и Максвелл. В этом его неоспоримая заслуга. Вместе с тем, не пора ли поставить вопрос о восстановлении Ньютона в роли основателя современного учения о цвете, поскольку трёхмерность цвета, законы смещения и методы расчёта цвета по известному составу изложены Ньютоном достаточно ясно в его «Оптике», опубликованной в 1704 году?
