



П. Бугер
1698—1758



И. Ламберт
1728—1777

О фотометрии

На фоне богатого событиями семнадцатого столетия восемнадцатый век в истории оптики представляется периодом спокойного развития, почти застоя. После выдвижения в конце XVII в. двух основных теорий света — волновой и корпускулярной — наступил этап их сравнительного анализа, осмысления того, насколько каждая из них соответствует данным опыта. Хотя в XVIII в. большинство ученых придерживалось корпускулярных представлений о свете, все же время от времени появлялись работы, в которых отмечались трудности, возникающие при попытках их использования для объяснения оптических явлений. Однако существенного прогресса в вопросе о природе света в этот период достигнуто не было. И все же нельзя сказать, что XVIII в. не оставил следа в развитии оптики. Именно в это время были заложены основы одного из разделов науки о свете — фотометрии. Заслуга разработки принципов фотометрии принадлежит двум ученым: французу П. Бугеру и немцу И. Ламберту. Хотя их основные работы, относящиеся к этой области, появились одновременно (1760), раньше к исследованиям по фотометрии приступил П. Бугер.

Пьер Бугер родился в Бретани в 1698 г. в семье профессора гидрографии. Мальчик был вундеркиндом — уже в четырнадцать лет, после смерти отца, он занял его кафедру. Очень скоро Бугер завоевал репутацию ведущего специалиста в области морских наук. К 1735 г., когда он стал действительным членом Парижской Академии наук, на его счету было уже три премии Академии, полученные за победы в международных конкурсах, темы которых относились к кораблестроению, навигации и астрономии.

В 1735 г. вместе с другим академиком Ш. Кондамином Бугер возглавил экспедицию в Перу, целью которой было измерение дуги меридиана вблизи экватора (эти измерения должны были стать решающим аргументом в многолетнем споре о форме Земли). В экспедиции, несмотря на тяжелейшие условия, Бугер не только проводил геофизические измерения, но и ставил раз-

нообразные физические эксперименты: изучал расширение твердых тел и астрономическую рефракцию, проводил барометрические измерения и т. д. На родину Бугер вернулся лишь в 1744 г., полностью выполнив задание Академии.

Во второй половине 40-х — начале 50-х годов Бугер много занимался вопросами кораблестроения и кораблевождения и опубликовал на эту тему несколько книг. В последние годы жизни Бугер работал над сочинением, благодаря которому его имя вошло в историю оптики, — «Оптическим трактатом по градации света». Однако эта книга увидела свет уже после смерти ученого, последовавшей 15 августа 1758 г.

Проблемой измерений «количества света» Бугер заинтересовался еще в молодости, в 1721 г., в связи с постановкой геофизической задачи, для решения которой требовалось знание относительного «количества» солнечного света, падающего на поверхность Земли на различных широтах. В 1725 г. Бугер провел соответствующее измерение для света от полной Луны, причем эталоном служил свет свечи. В 1729 г. была издана первая работа Бугера по фотометрии, в которой он предложил конструкцию фотометра, основанную на способности человеческого глаза с высокой точностью сравнивать освещенность двух поверхностей. В своих рассуждениях, обосновывающих конструкцию этого прибора, Бугер воспользовался идеей Кеплера о том, что интенсивность света при удалении от источника убывает обратно пропорционально квадрату расстояния. Тогда же Бугер открыл закон экспоненциального убывания интенсивности света в прозрачных телах.

Спустя четверть века Бугер вернулся к проблематике, связанной с фотометрией. Его «Оптический трактат» содержит более пространное изложение теории и описание фотометров нескольких типов. В этой обобщающей работе Бугер попытался рассмотреть и случаи наклонного падения лучей, однако заслуга систематической разработки этих вопросов принадлежит уже Ламберту.

Иоганн Генрих Ламберт родился 26(?) августа 1728 г. в Мюльхаузене (Эльзас) в многодетной семье портного. В двенадцать лет мальчик был вынужден оставить школу, чтобы помогать отцу; однако он продолжал учиться самостоятельно. Усилия юного Ламберта не пропали даром. В пятнадцать лет он становится переписчиком, а через два года — секретарем издателя в Базеле.

В Базеле Ламберту предоставляется возможность пополнить свое образование, и он усиленно занимается математикой, астрономией, проявляет интерес к проблемам теории познания. С 1748 по 1758 г. Ламберт служит домашним учителем в семье аристократа в Куре. В этот период начинается его научная деятельность. Первая опубликованная работа Ламберта была посвящена тепловым измерениям. Вместе со своим учеником

Ламберт совершает путешествие по Европе, во время которого знакомится с известными учеными (Т. Майером, П. Мушенбромом, Ж. Даламбером и др.).

После прекращения преподавательской деятельности Ламберт некоторое время ведет астрономические наблюдения в Швейцарии, затем переезжает в Мюнхен для организации Баварской Академии наук, участвует в геодезических съемках для установления границы между Швейцарией и Италией. В это же время Ламберт получает приглашение в Петербургскую Академию наук, но предпочитает Прусскую Академию, членом которой становится в 1765 г. За двадцать лет деятельности в Прусской Академии ученый подготовил более 150 работ, относящихся к различным отраслям знаний. Ламберт умер 25 сентября 1777 г.

Ламберт много занимался философией. Хотя он явно находился под влиянием идей Г.-В. Лейбница, Х. Вольфа, Н. Мальбранша и Дж. Локка, некоторые историки философии усматривают в его работах предвосхищение идей Канта. Сам автор «Критики чистого разума» считал Ламберта серьезным философом. В его философских работах большое внимание уделялось логике. Следуя идее Г.-В. Лейбница, Ламберт пытался построить нечто подобное алгебре логики. Ему принадлежит термин «семиотика» для обозначения универсального языка символов, вошедший в современную науку.

В астрономии известны исследования Ламберта по теории орбит комет, особенностей движения Сатурна и Юпитера. Он занимался проблемами космологии и выдвинул идею об иерархическом строении Вселенной, ввел понятие о двойных звездах. (Многие идеи Ламберта были впоследствии подтверждены наблюдениями В. Гершеля.) Основное сочинение Ламберта по космологии (1761) было переведено на английский, французский и русский языки. Ламберт основал астрономический журнал и много внимания уделял организации международного сотрудничества астрономов.

Ламберт внес вклад в развитие математики. Он работал над теорией параллельных и теорией конических сечений. В 1766 г. Ламберт доказал иррациональность числа π . Он же ввел тригонометрические функции синус и косинус, изучал гиперболические функции. Ламберту принадлежит заслуга разработки математических основ построения географических карт.

В области физики Ламберт работал над проблемами измерения влажности (предложил конструкцию гигрометра) и пирометрии. Он проводил опыты над тепловым изучением и показал, что «тепловые лучи» распространяются прямолинейно и их интенсивность изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния. Его сочинения «Гигрометрия» (1774) и «Пирометрия» (1779) пользовались широкой известностью в XVIII в.

Для творчества Ламберта характерен поиск наиболее точных понятий для описания физических явлений, причем таких, кото-

рые допускали бы введение меры и, следовательно, могли быть использованы для построения математической модели. Эта особенность просматривается и в знаменитом сочинении Ламберта «Фотометрия, или об измерениях и сравнениях света, цветов и теей» (1760). Это сочинение в значительной степени обусловлено астрономическими интересами Ламберта. Он надеялся определить удаленность звезд по сравнению их яркости. Не зная о работе Бугера, Ламберт повторил некоторые его результаты и в то же время внес много нового в учение о «градации света». Ему принадлежат многие термины (фотометрия, альbedo и др.), понятие «ламбертов источник» прочно вошло в физику. В целом Ламберт дал более строгое (математизированное) изложение фотометрии.

Здесь воспроизводятся отрывки из сочинения П. Бугера, в которых излагается его подход к общей проблеме сравнения яркостей и освещенностей, а также вывод «закона Бугера», описывающего поглощение света в прозрачных средах. Приведенные ниже фрагменты из «Фотометрии» Ламберта дают представление о его подходе к построению физической теории, о соотношении между теорией и экспериментом.

П. Бугер

Оптический трактат о градации света

КНИГА I

Различные способы измерения света и некоторые приложения этих способов

Глава 3

Способ получить от одного светильника или
от одной свечи пучки света, которые надлежит
сравнивать в различных опытах

В изысканиях, коими мы занимаемся, часто бывает необходимо определить, какое количество света отражает тело, поверхность которого полирована, например зеркало, сравнительно со светом, который на него падает, или отметить, какова точная степень пропускания прозрачного тела определенной протяженности. Можно было бы попытаться выбрать для решения этих задач две свечи точно одинаковой толщины или две совершенно одинаковые лампы. Следовало бы заставить свет от одной из них отражаться или проходить сквозь прозрачные тела и сравнивать его затем со светом другой свечи; однако очень легко придать опыту форму, сулящую ему гораздо больший успех.

Положим для начала, что речь идет об отражении. Поместив вертикально в *B* [рис. 62] зеркало или отражающую поверх-

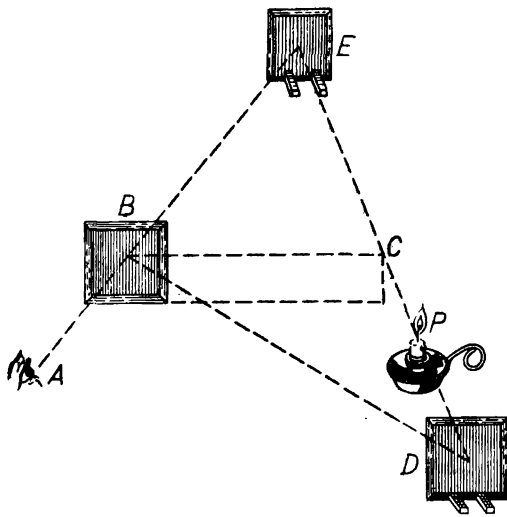


Рис. 62

ность, мысленно продолжают их плоскость до C и, взяв две дощечки совершенно одинакового цвета, или, иначе говоря, одинаковой белизны, помещают их перед зеркалом и позади его на равных расстояниях, располагают эти дощечки в точности параллельно друг другу или придают им одинаковый наклон относительно соединяющей их линии ED ; они будут освещены лампой или свечой P , помещенной на той же прямой линии ED . Затем ищут точку A , из которой дощечка D видна вследствие отражения в зеркале, и притом таким образом, чтобы другая дощечка E , помещенная немного выше своего настоящего места или немного сбоку от него, была видна одновременно. Следует, чтобы обе дощечки, видимые одна вследствие отражения, а другая непосредственно, казались образующими единую поверхность или соприкасающимися. Кроме того, необходимо сделать их кажущуюся белизну или оттенки их света совершенно одинаковыми, передвигая свечу P вдоль прямой ED в том или другом направлении. После этого остается лишь измерить расстояния EP и DP , и квадраты этих расстояний укажут отношение, в котором отражение от зеркала уменьшает силу света¹.

Очевидно, что если бы зеркало отражало без всякого изменения все лучи, которые оно получает, то для того, чтобы дощечки казались освещенными одинаково, свечу P надлежало бы поместить в точности посередине промежутка между дощечками, в точке C , поскольку все прочие условия для них одни и те же. Но так как отражение приводит всегда к большой потере силы света, то эту потерю можно возместить лишь значительно приблизив свечу P к дощечке D , видимой вследствие отражения. Эта дощечка будет, следовательно, освещена сильнее, нежели

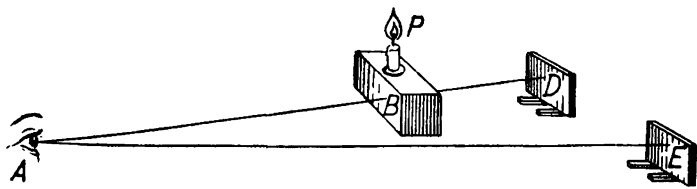


Рис. 63

другая, в том же отношении, в каком квадрат PE больше квадрата PD . Это же отношение должно таким образом выражать ослабление света при отражении от зеркала, поскольку большая близость свечи к дощечке D служит тому, чтобы восстановить равновесие тона, нарушенное при отражении.

Излишне было бы напоминать о том, как важно, чтобы глаз находился всегда в тени. Однако мы не преминем упомянуть о том, что и зеркало должно быть затенено и не должно освещаться никаким иным светом, кроме того, который приходит к нему от дощечки D . В противном случае свет, падающий на его поверхность, присоединяется отчасти к свету от дощечки. Повторяя опыт, не худо поменять дощечки местами, дабы устранить опасение относительно неравенства их цветов, между которыми может существовать некоторое различие. Наконец, если желательно делать наблюдения с лучами света, образующими слишком малые углы с поверхностью зеркала, то опыт придется вести совершенно иначе, ибо в этом случае следовало бы располагать обе дощечки D и E слишком близко друг от друга и, не говоря уже о том, что между ними было бы трудно поместить свечу, измерение обоих расстояний повлекло бы за собой слишком большие погрешности. (...)

Определить, насколько ослабляется свет, проходя через прозрачное тело. Почти тем же способом можно определить ослабление, претерпеваемое светом, проходящим через прозрачное тело. На прозрачное тело B , имеющее форму прямоугольного параллелепипеда, поместили сверху свечу P , одновременно освещающую почти перпендикулярно обе дощечки D и E [рис. 63]. Эти дощечки рассматривают одновременно: первую — через прозрачное тело, а вторую — непосредственно. Эта последняя кажется освещенной ярче, нежели первая, если только ее не отнести на большее расстояние от свечи. Несколькими небольшими перемещениями добиваются того, чтобы оба цвета казались одинаково яркими или чтобы оба предмета казались имеющими одинаковую степень белизны, после чего определяют квадраты обоих расстояний до свечи. Если одно расстояние в два или три раза больше другого, то дощечка D будет освещена в четыре или в девять раз сильнее, чем другая. Это покажет, что прозрачное тело ослабляет в четыре или в девять раз свет, который через него проходит.

О том, что свет, проходя однородные и одинаково толстые слои прозрачного тела, не уменьшается согласно членам арифметической прогрессии

Первое суждение, которое можно высказать об этом предмете, заключается в том, что если представить себе прозрачное тело разделенным на слои одинаковой толщины, то все эти слои будут задерживать одинаковые количества лучей, и это приведет к тому, что свет, претерпевая при прохождении через каждый слой в точности одинаковое уменьшение, будет убывать в арифметической прогрессии, подобно тому, как уменьшаются ординаты треугольника.

Чтобы установить истинность или ложность этого суждения, которого придерживался парижский капуцин Франсуа Мари, уже упоминавшийся в первой книге, а также некоторые другие авторы, заблуждения которых менее простительны, я заставлял проходить свет силою в 32 свечи перпендикулярно через два куска стекла, и он становился при этом в два раза более слабым, ибо он казался мне равным свету, испускаемому 16 свечами. Если бы последующее прибавление двух кусков стекла такой же толщины вызывало бы такое же ослабление, то очевидно, что были бы задержаны все лучи; нечего уже и говорить о том, что восемь или девять кусков стекла образовали бы совершенно непроницаемую для света толщу. Однако, добавляя к двум первым кускам два другие, я отнюдь не получил абсолютно непрозрачного тела. Свет остался еще весьма ярким. Даже когда я заставлял его проходить через десять кусков, он оставался не слабее, нежели свет одной свечи.

О том, что при возрастании толщины на равные величины свет уменьшается подобно членам геометрической прогрессии

Однако очевидно, что читатели, поразмыслив, поймут, без сомнения, что для того, чтобы вторая толща задерживала в точности то же число лучей, что и первая, необходимо, чтобы в нее входило в точности то же число лучей, что и в первую. Однако, поскольку второй толщи достигает, быть может, лишь треть или четверть общего числа лучей, ибо остальные лучи уже задержаны, то очевидно, что этот слой должен задерживать также в три или четыре раза менее лучей, нежели первый слой. Таким образом, равные слои должны поглощать не равные,

а лишь пропорциональные количества лучей. Другими словами, если некоторая толща поглощает половину света, то другая, следующая за первой и тождественная ей, поглощает не всю остальную половину, а лишь половину этой половины, оставляя, следовательно, лишь четверть. Поскольку все другие слои поглощают подобные же части, ясно, что свет будет уменьшаться всегда в геометрической прогрессии.

Ясно также, что сказанное нами должно быть справедливо вне зависимости от того, каким образом свет распространяется через прозрачные тела. Действительно, предположим, что лучи могут проходить лишь сквозь поры и что этих пор столь много, что твердые части составляют лишь одну сотую кажущегося внешнего объема тела. Если представить себе это тело разделенным на почти бесконечное число слоев, толщина которых равна диаметру этих маленьких твердых частей, то первый слой поглотит лишь сотую часть лучей, и если их было бы 100 000, то второго слоя достигнут 99 000 лучей. Поскольку во втором слое будет снова в сто раз более пор, нежели твердых частей, ибо тело однородно, то ясно, что после прохождения лучей через второй слой их число снова претерпит уменьшение на одну сотую и окажется равным 98 010. Все другие слои окажут подобное же действие; всякий раз они будут уменьшать свет на одну сотую часть. Таким образом, всегда будет в точности соблюдаться геометрическая прогрессия. Иначе, если маленькие твердые тела, из которых состоят тела, в некоторых случаях сами служат для передачи света, то мы не придем ни к чему новому, ибо эти зерна материи, передающие свет, могут рассматриваться как поры, и мы вполне можем принимать во внимание лишь зерна другого рода, которые отклоняют или ослабляют свет; а так как в каждом слое находится всегда одинаковое количество этих последних, то очевидно, что они будут всегда ослаблять свет на одну и ту же пропорциональную часть. <...>

И. Ламберт

Фотометрия, или об измерениях и сравнениях света, цветов и теней

ЧАСТЬ I

Прямой свет. Его различные
проявления и интенсивность.
Яркость и освещенность

Глава I

Категории и принципы фотометрии

46. <...> Было установлено три известных положения.

1. Две (или более) свечи светят сильнее, чем одна.

2. Объект освещен ярче, если он находится ближе к источнику света.

3. Свет освещает плоскость слабее, если он падает на нее наклонно. <...>

53. Подобным образом оптики также установили третий закон², который относится к углу падения³. Легко видеть, что число лучей меньше, когда на ту же самую поверхность они падают под большим углом. Вследствие этого они в большей степени удалены друг от друга, и лист неизбежно должен быть освещен слабее. А то, что освещенность уменьшается в таком же отношении, что и синус угла падения, доказывается следующим образом. Между параллельными прямыми CA , DB на плоскости AB могут падать параллельные лучи под углом $CAF = DBF$ [рис. 64]. Предположим, что те же лучи перехватываются плоскостью AE , которая расположена перпендикулярно направлению лучей. Тогда AE перехватывает такое же число лучей, какое раньше [получала] большая по площади часть плоскости AB . Лучи, следовательно, должны быть расположены в пределах AE плотнее, нежели в AB . Так как плотность ведет себя как число лучей, деленное на соответствующую площадь, то одно и то же число лучей следует в первом случае делить на AB , а во втором — на AE , и плотность [лучей] на AB находится к плотности на AE в отношении, обратном отношению длин этих отрезков, или непосредственно в отношении AE к AB . Если теперь положить AB равным единице, то AE будет синусом угла падения. Поэтому нормальная освещенность относится к наклонной как единица к синусу угла падения. Оно, следовательно, уменьшается с синусом угла падения.

54. Таковы доказательства для этих трех законов, посредством которых в каждом конкретном случае определяются изменение освещенности и сила освещенности, в том виде, как их можно найти во всех книгах по оптике. Однако, строго говоря, ни один из них нельзя сам по себе проверить опытным путем,

поскольку, как мы видели выше, при этом требуется визуальное наблюдение, которое, за исключением случая равенства освещенностей, не следует считать надежным. Пусть тот же лист освещен светом свечи. Далее, пусть имеется второй лист, на который посылают лучи две свечи. Последний, как известно, освещен гораздо ярче. Однако является ли эта освещенность вдвое большей, можно судить на основе проведенных выше рассуждений, хотя нельзя с определенностью решить непосредственным наблюдением. Подобным же образом лист, удаленный от пламени свечи, будет выглядеть более темным, нежели другой, находящийся ближе; однако визуально нельзя определить соотношение между освещенностями в двух случаях. Так же наклонно падающий свет будет восприниматься несколько более темным, но визуальное ослабление света не может быть измерено. На чем же основывается тогда надежность этого утверждения, если оно должно быть получено *a posteriori*?

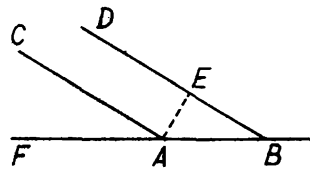


Рис. 64

55. На самом деле существует метод, позволяющий сравнить любой из этих законов с другими посредством опыта и предоставить доказательство того, что если один из них считать истинным, то и другие также должны быть истинными. Таким образом, эти законы как бы соединены общей связью, вследствие чего они взаимно подтверждаются или опровергаются. Тем не менее, хотя все они и следуют из в высшей степени естественного воззрения на свет, все же, поскольку ошибочные заключения в физике вполне возможны и часто встречаются, те, кто требует высшей строгости в научных доказательствах, предостерегают от [порочного] логического круга, который, по их мнению, возникает в данном случае.

56. Однако, согласно моему взгляду на область физики, истинная строгость в таких физических доказательствах или вообще не встречается, или встречается крайне редко. Поэтому достоверность достигает своей наивысшей степени в том случае, когда закон так согласуется с отдельными явлениями, что явно не противоречит ни одному из них, и соответствует им тем лучше, чем шире берется сфера опыта. То, что три указанных закона обладают этим свойством, в данной работе по фотометрии оказалось подтверждено таким способом, который не оставляет никаких сомнений.

57. Однако, чтобы здесь не было заметно отсутствия доказательства этого утверждения, мы хотели бы тотчас увидеть, как эти законы взаимно подтверждаются на опыте.

58. *Опыт 1.* Пусть на плоскости ABC в точке A находятся две свечи равной яркости, а на CD расположена белая ровная поверхность или лист бумаги так, чтобы лучи из A падали на часть поверхности $BGFD$ перпендикулярно.

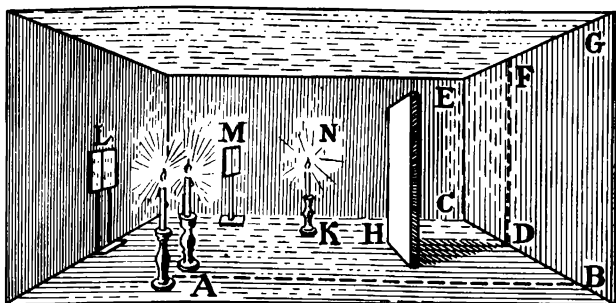


Рис. 65

В H стоит другая, менее широкая плоскость, так что тень, отбрасываемая обеими свечами, находящимися в A , покрывает дальнюю часть $DFEC$ [первой] плоскости. С другой стороны, в K находится еще одна свеча, такая же яркая, как и две первые, так что отбрасываемая плоскостью H тень покрывает лишь ближнюю сторону $DFGB$ [первой] плоскости. В этом случае ближняя часть плоскости $BGFD$ освещена двумя свечами, дальняя, напротив, лишь одной. При строгом выполнении этих условий свечу K приближают или удаляют от плоскости BE до тех пор, пока обе части DG и DE не приобретут равную яркость. Затем определяется расстояние от свечей до плоскости BC . Тогда AB относится к KC как $\sqrt{2}$ к 1, или, другими словами, было найдено, что квадрат расстояния AB относится к квадрату расстояния KC как 2 к 1, или, в более общей форме, как число свечей в A к их числу в K . Затем можно повторить опыт так же, но с большим количеством свечей. Он будет тем более точен, чем ближе друг к другу по яркости и величине будут отдельные свечи.

59. Опыт 2. Описанный выше опыт можно также осуществить с одной свечой, но с использованием плоского зеркала. Свеча находится в K и плоскость H приближают к ней до тех пор, пока тень от плоскости не покроет всю плоскость BE . Затем в L позади свечи помещают два (или более) зеркала так, чтобы они отражали свет на часть плоскости $BGFD$. Зеркала должны быть при этом равноудалены от свечи и стоять очень близко друг к другу. Теперь берут другое зеркало и помещают его ближе к свече, а именно так, чтобы ее свет падал на часть плоскости $DFEC$ и освещал ее так же ярко, как освещена двумя зеркалами часть $BGFD$. Из катоптрики, однако, известно, что освещенность ведет себя так, как если бы свеча стояла там, где в данном опыте видно ее отражение, которое находится за зеркалом на том же расстоянии от него, что и свеча. Следует взять расстояние от зеркала до плоскости BE и добавить к нему расстояние от зеркала до свечи. Тогда оказывается, что квадрат суммы расстояний $LG + LN$ относится к квадрату суммы рас-

стояний $ME + MN$ как число зеркал в L к числу зеркал в M , если в обоих местах находится несколько зеркал.

60. (...) Из опытов вытекает в первую очередь то, что если освещенность должна остаться той же самой, то квадраты расстояний до свечей должны относиться как число этих свечей. Следовательно, обусловленная отдельной свечой освещенность тем меньше, чем больше это число и, следовательно, чем больше квадрат расстояния. Таким образом, освещенность изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния.

61. Для этого утверждения также должно быть приведено аналитическое доказательство. Пусть n — число свечей в A , J — определяемая ими освещенность, которую мы положим постоянной. В соответствии с допущениями обусловленная отдельной свечой освещенность равна $\frac{J}{n}$. Мы примем ее равной c , так

что $c = \frac{J}{n}$. Согласно опыту, однако, n равно квадрату расстояния; обозначим его d , тогда $n = d^2$. Из-за $c = \frac{J}{n}$ имеем $c =$

$= \frac{J}{d^2}$ или из-за $J = \text{const}$ также $c \sim 1 : d^2$. Доказательство проводится так же, если привлекается второй опыт и на место свечей поставлены их изображения, сформированные зеркалами.

62. Опыт 3. На прямой AB стоит белая плоскость. В C находится одна или несколько свечей, свечи находятся и в D , однако в большем количестве, нежели в C . Далее, пусть на EF установлена плоская ширма, которая закрывает точку B от свечей C , а также точку A от свечей в D . Тогда посредством опыта определяется такое расположение свечей, при котором они равноудалены от освещаемых точек A и B и с равной силой освещают плоскость. Если затем измерить углы CAB и DBG , то окажется, что их синусы так относятся друг к другу, как число свечей в D к числу свечей в C . Посредством этого опыта доказываемся, что первый и третий законы зависят друг от друга и взаимно подтверждаются.

63. Опыт 4. В C снова находится одна свеча; другая, равной яркости и величины, так установлена на прямой BD , например в H , что плоскости в A и B освещены с равной яркостью. Тогда синусы углов падения находятся в отношении, обратном отношению квадратов расстояния от свечей до точек A и B . (...) Легко видеть, что оба этих опыта могут быть также осуществлены с помощью зеркал.

64. Имеется еще несколько существенно иных опытов, нежели описанные, с помощью которых можно взаимно подтвердить эти законы. Следует, однако, отложить описание этих опытов до тех пор, пока принципы, на которых они основаны, не проявятся в следствиях [из законов]. Между тем мы нуждаемся в описанных опытах, чтобы определить, как различные освещенности можно сравнивать друг с другом. Таким образом, мы предвари-

тельно получили вспомогательное средство для того, чтобы в дальнейшем сравнивать различные степени освещенности.

65. Из сказанного следует, что имеются различные способы не только как изменить произвольную освещенность, чтобы она была равна данной освещенности, но и узнать, в каком отношении и насколько она увеличилась или уменьшилась. Тогда, если можно изменять расстояние от источника света до листа либо до освещенной плоскости или регулировать их положение, в этом случае также можно добиться освещенности, равной данной. И переменная освещенность всегда изменяется прямо пропорционально синусу угла падения и обратно пропорционально квадрату расстояния.

66. Пусть, например, освещенность листа, обусловленную Луной, необходимо сравнить с освещенностью этого же листа пламенем свечи. Легко видеть, что этого можно достичь различными способами. Всегда необходимо подставить лист лучам Луны, так же как и лучам свечи, в то время как преграда устанавливается так, что освещенная Луной часть [поверхности] не будет освещаться лучами свечи, и наоборот. Придерживаясь этого правила, расстояние до свечи можно увеличивать или уменьшать до тех пор, пока обе стороны листа не будут казаться одинаково освещенными. Подобным же образом, используя несколько свечей, можно сравнить созданную ими освещенность листа с освещенностью, обусловленной Луной или другим источником света. Необходимо отметить, что посредством таких опытов не находится соотношение между яркостями самих источников света, и яркость освещенного листа нельзя сравнить с яркостью светящегося тела. Первое может быть легко достигнуто, если принять во внимание как угол падения, так и кажущиеся размеры. <...>

Комментарии.

Перевод трактата Бугера с французского выполнен Н. А. Толстым и П. П. Феофиновым. Отрывки воспроизводятся по изданию: Бугер П. Оптический трактат о градации света. Л., 1950. Название трактата на языке оригинала: *Traité d'Optique sur la gradation de la lumière*, Paris, 1760.

Перевод с немецкого отрывков из сочинения И. Ламберта выполнен Б. В. Булюбашем и С. Р. Филоновичем по изданию: *Lambert J.-H. Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae*. Bd. 1. Leipzig, 1892.

Впервые сочинение Ламберта было опубликовано на латинском языке в Аугсбурге в 1760 г.

Выше Бугер вслед за И. Кеплером принимает, что освещенность изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от источника до освещенной поверхности. Следует отметить, что здесь Бугер, не отмечая это особо, принимает, что сила

света 1 свечи одинакова как в направлении к экрану E , так и к экрану D , и указывает, что эти экраны должны быть одинаково наклонены по отношению к линии ED , т. е. угол падения света на них одинаков.

² В качестве первого закона Ламберт формулирует утверждение об обратной пропорциональности освещенности квадрату расстояния до светящейся точки. Второй закон утверждает, что при прочих равных условиях освещенность пропорциональна числу источников (у Ламберта — свечей).

³ Здесь и далее следует иметь в виду, что углом падения α Ламберт называет угол между падающим лучом и касательной к поверхности, т. е. в современной терминологии — угол скольжения. Согласно общепринятой в наши дни терминологии, угол падения i — это угол между лучом и нормалью к поверхности, т. е. $\alpha = \pi/2 - i$.

Литература

(Собрание сочинений П. Бугера не издавалось)

- [1] Lamontagne R. La vie et l'oeuvre de Pierre Bouguer. Montreal et Paris, 1964.
- [2] Lambert J. H. Gesammelte philosophische Werke. Bd. 1. Hildesheim, 1967.
- [3] Lambert J. H. Opera mathematica. Bd. 1—2. Zurich, 1946—1948.
- [4] Steck M. Bibliographia Lambertiana. Hildesheim, 1970.

Голин Г. М., Филонович С. Р.

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