

Введение

Учение о свете является одним из важных в современной физике. Геометрическая оптика – теоретическая основа оптотехники, теории оптических приближений и ряда других дисциплин. Основные понятия геометрической оптики необходимы каждому, независимо от избранной специальности. На основных законах геометрической оптики можно построить математическую теорию распространения света. Область явлений, изучаемых оптикой обширна. Оптические явления тесно связаны с явлениями, изучаемыми в других разделах физики, а оптические методы исследования относятся к наиболее тонким и точным.

Оптика относится к таким наукам, первоначальные представления которых возникли в глубокой древности. На протяжении своей многовековой истории она испытывала непрерывное развитие и настоящее время является одной из фундаментальных физических наук, обогащаясь открытиями все новых явлений и законов.

Важнейшая проблема оптики — вопрос о природе света.

Границы применимости геометрической оптики. Если длина волны излучения много меньше линейных размеров тех объектов, с которыми взаимодействует свет, то можно рассматривать свет как совокупность лучей, распространение которых подчиняется простым законам:

1. Лучи света распространяются прямолинейно.
2. Справедлив закон отражения.
3. Справедлив закон преломления.

При этих условиях можно не учитывать волновые свойства света (явления дифракции и интерференции).

Реферат состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

1. Геометрическая оптика как наука и характеристика световых явлений

1.1 Сведения из истории оптики

Оптика - учение о природе света, световых явлениях и взаимодействии света с веществом. И почти вся ее история - это история поиска ответа: что такое свет.

Одна из первых теорий света - теория зрительных лучей - была выдвинута греческим философом Платоном около 400 г. до н. э. Данная теория предполагала, что из глаза исходят лучи, которые, встречаясь с предметами, освещают их и создают видимость окружающего мира. Взгляды Платона поддерживали многие ученые древности и, в частности, Евклид (3 в до н. э.), исходя из теории зрительных лучей, основал учение о прямолинейности распространения света, установил закон отражения.

В те же годы были открыты следующие факты:

- - прямолинейность распространения света;
- - явление отражения света и закон отражения;
- - явление преломления света;
- - фокусирующее действие вогнутого зеркала.

Древние греки положили начало отрасли оптики, получившей позднее название геометрической.

Наиболее интересной работой по оптике, дошедшей до нас из средневековья, является работа арабского ученого Альгазена. Он занимался изучением отражения света от зеркал, явления преломления и прохождения света в линзах. Альгазен впервые высказал мысль о том, что свет обладает конечной скоростью распространения. Эта гипотеза явилась крупным шагом в понимании природы света.

В эпоху Возрождения было совершено множество различных открытий и изобретений; стал утверждаться экспериментальный метод, как основа изучения и познания окружающего мира. На базе многочисленных опытных фактов в середине XVII века возникают две гипотезы о природе световых явлений:

- корпускулярная, предполагавшая, что свет есть поток частиц, выбрасываемых с большой скоростью светящимися телами;

- волновая, утверждавшая, что свет представляется собой продольные колебательные движения особой светоносной среды - эфира - возбуждаемой колебаниями

частиц светящегося тела.

Все дальнейшее развитие учения о свете вплоть до наших дней - это история развития и борьбы этих гипотез, авторами которых были И. Ньютон и Х. Гюйгенс.

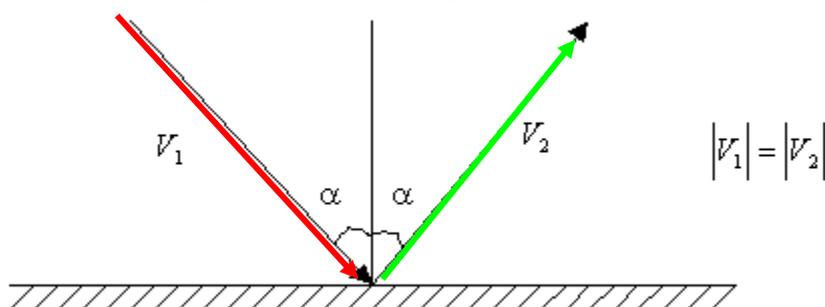
1.2 Основные положения корпускулярной теории Ньютона

1) Свет состоит из малых частичек вещества, испускаемых во всех направлениях по прямым линиям, или лучам, светящимся телом, например, горячей свечой. Если эти лучи, состоящие из корпускул, попадают в наш глаз, то мы видим их источник.

2) Световые корпускулы имеют разные размеры. Самые крупные частицы, попадая в глаз, дают ощущение красного цвета, самые мелкие - фиолетового.

3) Белый цвет - смесь всех цветов.

4) Отражение света от поверхности происходит вследствие отражения корпускул от стенки по закону абсолютно упругого удара.



5) Явление преломления света объясняется тем, что корпускулы притягиваются частицами среды. Чем оптически плотнее среда, тем угол преломления меньше угла падения.

6) Явление дисперсии света, открытое Ньютоном в 1666 г., он объяснил следующим образом. Каждый цвет уже присутствует в белом свете. Все цвета передаются через межпланетное пространство и атмосферу совместно и дают эффект в виде белого света. Белый свет - смесь разнообразных корпускул - испытывает преломление, пройдя через призму. С точки зрения механической теории, преломления обязано силам со стороны частиц стекла, действующим на световые корпускулы. Эти силы различны для разных корпускул. Они наибольшие для фиолетового и наименьшие для красного цвета. Путь корпускул в призме для каждого цвета будет преломляться по-своему, поэтому белый сложный луч расщепится на цветные составляющие лучи.

7) Ньютон наметил пути объяснения двойного лучепреломления, высказав гипотезу о том, что лучи света обладают «различными сторонами» - особым свойством, обуславливающим их различную преломляемость при прохождении двоякопреломляющего тела.

Корпускулярная теория Ньютона удовлетворительно объяснила многие оптические явления, известные в то время. Ее автор пользовался в научном мире колоссальным авторитетом, и вскоре теория Ньютона приобрела многих сторонников во всех странах.

1.3 Основные положения волновой теории Гюйгенса

1) Свет - это распространение упругих аperiodических импульсов в эфире. Эти импульсы продольны и похожи на импульсы звука в воздухе.

2) Эфир - гипотетическая среда, заполняющая небесное пространство и промежутки между частицами тел. Она невесома, не подчиняется закону всемирного тяготения, обладает большой упругостью.

3) Принцип распространения колебаний эфира таков, что каждая его точка, до которой доходит возбуждение, является центром вторичных волн. Эти волны слабы, и эффект наблюдается только там, где проходит их огибающая поверхность - фронт волны (принцип Гюйгенса).

Чем дальше волновой фронт от источника, тем более плоским он становится.

Световые волны, приходящие непосредственно от источника, вызывают ощущение видения.

Очень важным пунктом теории Гюйгенса явилось допущение конечности скорости распространения света. Используя свой принцип, ученому удалось объяснить многие явления геометрической оптики:

- - явление отражения света и его законы;
- - явление преломления света и его законы;
- - явление полного внутреннего отражения;
- - явление двойного лучепреломления;
- - принцип независимости световых лучей.

Теория Гюйгенса давала такое выражение для показателя преломления среды:

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

Из формулы видно, что скорость света должна зависеть обратно пропорционально от абсолютного показателя среды. Этот вывод был противоположен выводу, вытекающему из теории Ньютона. Невысокий уровень экспериментальной техники XVII века исключал возможность установить, какая из теорий верна.

Многие сомневались в волновой теории Гюйгенса, но среди малочисленных сторонников волновых взглядов на природу света были М. Ломоносов и Л. Эйлер. С исследований этих ученых теория Гюйгенса начала оформляться как теория волн, а не просто апериодических колебаний, распространяющихся в эфире.

1.4 Интерференция света



Все, конечно, неоднократно любовались красивыми переливами цветов на поверхности весенних луж. Многие, вероятно, замечали, что такие же цветные полосы обнаруживаются на реке вблизи судов, когда на воде появляются пятна нефти или масла. Во всех этих явлениях обращает на себя внимание прихотливое расположение цветных полос и особенно их переливы, т. е. смена цветов при повороте головы наблюдателя. Явление сходно с игрой цветов на мыльных пузырях



и, действительно, тождественно ему по своей физической природе. Его нетрудно воспроизвести, пустив капельку керосина или скипидара на поверхность воды в кювете, освещенной проекционным фонарем. Разнообразие цветов в описанных картинах явно связано с тем обстоятельством, что мы производим наблюдения в белом свете. Поставим на пути света какое-нибудь цветное стекло, и мы убедимся, что вместо цветных полос будем наблюдать полосы одного цвета, большей или меньшей яркости, разделенные темными промежутками. Форма и расположение полос при этом не изменятся. Так, например, если мы применим зеленое стекло, то полосы, имевшие при освещении белым светом зеленый тон, останутся практически неизменными, а красные полосы сделаются черными. Явление станет еще более отчетливым, если в качестве одноцветного (монокроматического) света воспользоваться пламенем горелки, в которое введен кусочек асбеста, смоченный раствором поваренной соли. Такое пламя окрашивается в желтый цвет благодаря излучению паров натрия, входящего в состав

соли; цвет этот весьма однороден. Наблюдаемая картина в этом свете будет состоять из ярко-желтых полос, постепенно переходящих в глубоко-черные. Таким образом, картина состоит из чередования светлых полос, посылающих много света в глаз наблюдателя (максимумы), и темных полос, от которых к наблюдателю совсем не идет свет (минимумы).



В описанных опытах мы имеем дело с явлениями, которые получили название интерференции волн. В наших оптических опытах мы обнаруживаем пере- распределение энергии, в результате которого вместо равномерной освещенности образуются темные области (минимумы) и области повышенной освещенности (максимумы). Другими словами, в опытах проявилась способность света к интерференции, т. е. обнаружился

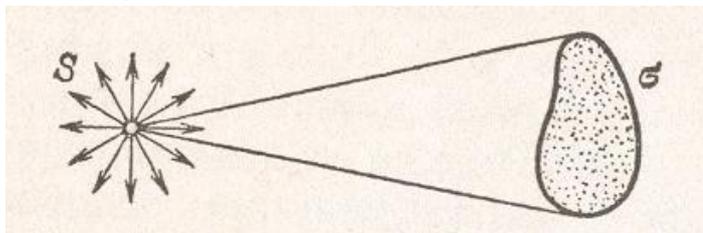
волновой характер световых явлений. То обстоятельство, что максимум для разных цветов приходится на различные места, показывает, что различным цветам соответствуют различные длины волн.

2. Фотометрия и светотехника

2.1 Энергия излучения и световой поток

Разнообразные действия света обусловлены в первую очередь наличием определенной энергии излучения (световой энергии).

Непосредственное восприятие света обусловлено действием световой энергии, поглощенной чувствительными элементами глаза. То же имеет место и в любом приемнике способном реагировать на свет, например в фотоэлементе, термоэлементе и фотопластинке. Вследствие этого измерения света сводятся к измерению световой энергии или к измерению величин, так или иначе с нею связанных. **Отдел оптики, изучающий методы и приемы измерения световой энергии, называется фотометрией.**



Выделим мысленно на пути света, распространяющегося от какого-либо источника S небольшую площадку δ . Через эту площадку за время t пройдет некоторая энергия излучения W . Для того чтобы измерить эту энергию, надо представить себе эту площадку в виде пленки, покры-

той веществом, полностью поглощающим всю падающую на него энергию излучения, например сажой, и измерить поглощенную энергию по нагреванию этой пленки. Отношение

$$\Phi = W / t$$

показывает, какая энергия протекает через площадку за единицу времени, и называется потоком излучения (мощностью излучения) через площадку δ . Мощность, переносимую световой волной через единичную площадку, называют интенсивностью волны.

Поток излучения оценивается в обычных единицах мощности, т. е. в ваттах, а интенсивность излучения – в ваттах на квадратный метр. Однако для восприятия и использования световой энергии исключительно важную роль играет глаз. Поэтому наряду с энергетической оценкой света пользуются оценкой, основанной на непосредственном световом восприятии глаза. **Поток излучения, оцениваемый по зрительному ощущению, называется световым потоком.**

Таким образом, в световых измерениях используются две системы обозначений и две системы единиц; одна из них основана на энергетической оценке света, другая - на оценке света по зрительному ощущению.

2.2 Точечные источники света

Все вопросы, связанные с определением световых величин, особенно просто решаются в том случае, когда источник излучает свет равномерно во всех направлениях. Таким источником является, например, раскаленный металлический шарик. Подобный шарик посылает свет равномерно во все стороны; световой поток от него распределен равномерно по всем направлениям. Это означает, что действие источника на какой-либо приемник света будет зависеть только от расстояния между приемником и центром светящегося шарика и не будет зависеть от направления радиуса, проведенного к приемнику из центра шарика.

Во многих случаях действие света изучается на расстоянии R , настолько превосходящем радиус r светящегося шарика, что размеры последнего можно не учитывать. Тогда можно считать, что излучение света происходит как бы из одной точки — центра светящегося шара. В подобных случаях источник света называется *точечным источником*.



Само собой разумеется, что точечный источник не является точкой в геометрическом смысле, а имеет, как и всякое физическое тело, конечные размеры. Источник излучения малых размеров не имеет физического смысла, ибо такой источник должен был бы с единицы своей поверхности излучать бесконечно большую мощность, что невозможно.

Более того, источник, который мы можем считать точечным, не всегда должен быть малым. Дело не в абсолютных размерах источника, а в соотношении

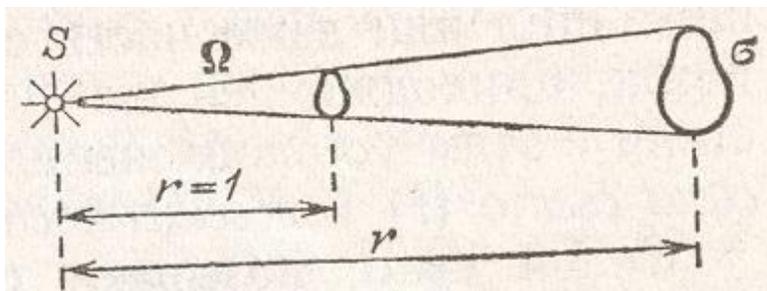
между его размерами и теми расстояниями от источника, на которых исследуется его действие. Так, для всех практических задач наилучшим образом точечных источников являются звезды; хотя они имеют огромные размеры, расстояния от них Земли во много раз превосходят эти размеры.

Необходимо также помнить, что прообразом точечного источника является равномерно светящийся шарик. Поэтому источник света, посылающий свет неравномерно в разные стороны, не является точечным, хотя бы он был очень маленьким по сравнению с расстоянием до точки наблюдения.

Определим более точно, что понимается под равномерным излучением света во все стороны. Для этого надо воспользоваться представлением о телесном угле Ω , который равен отношению площади поверхности δ , вырезанной на сфере конусом с вершиной в точке S , к квадрату радиуса r сферы:

$$\Omega = \delta / r^2$$

Это отношение не зависит от r , так как с ростом r вырезаемая конусом поверхность δ увеличивается пропорционально r^2 . Если $r=1$, то Ω численно равен δ , т. е. телесный угол измеряется поверхностью, вырезанной конусом на сфере единичного ра-



диуса. Единицей телесного угла является стерадиан — телесный угол, которому на сфере единичного радиуса соответствует поверхность с площадью, равной единице. Телесный угол, охватывающий все пространство вокруг источника, равен 4π ср, ибо площадь полной поверхности сферы единичного радиуса есть 4π .

Полное излучение какого-либо источника распределяется в телесном угле 4π ср. Излучение называется *равномерным* или *изотропным*, если в одинаковые телесные углы, выделенные по любому направлению, излучается одинаковая мощность. Конечно, чем меньше телесные углы, в которых мы производим сравнение мощности, излучаемой источниками, тем с большей точностью мы проверяем равномерность излучения.

Итак, ***точечным источником является источник, размеры которого малы по сравнению с расстоянием до места наблюдения и который посылает световой поток равномерно во все стороны.***

2.3 Сила света и освещенность

Полный световой поток характеризует излучение, которое распространяется от источника по всем направлениям. Для практических же целей часто важнее знать не полный световой поток, а тот поток, который идет по определенному направлению или падает на определенную площадку. Так, например автомобилисту важно получить достаточно большой световой поток в сравнительно узком телесном угле, внутри которого находится небольшой участок шоссе. Для работающего за письменным столом важен тот поток, который освещает стол или даже часть стола, тетрадь или книгу, т. е. поток, приходящийся на некоторую площадь. В соответствии с этим установлены два вспомогательных понятия — *сила света* (I) и *освещенность* (E).

Силой света называют световой поток, рассчитанный на телесный угол, равный стерадиану, т. е. отношение светового потока Φ , заключенного внутри телесного угла Ω , к этому углу:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (1)$$

Освещенность же есть световой поток, рассчитанный на единицу площади, т. е. отношение светового потока Φ , падающего на площадь δ , к этой площади:

$$E = \frac{\Phi}{\delta} \quad (2)$$

Очевидно, что с помощью источника, посылающего определенный световой поток, мы можем осуществить весьма разнообразную силу света и весьма разнообразную освещенность. Действительно, если направить весь поток или большую его часть внутрь малого телесного угла, то в направлении, выделенном этим углом, можно получить очень большую силу света. Так, например, в прожекторах удается сосредоточить большую часть потока, посылаемого электрической дугой, в очень малом телесном угле и получить в соответствующем направлении огромную силу света. В меньшей степени той же цели достигают с помощью автомобильных фар. Если сконцентрировать с помощью отражателей или линз световой поток от какого-либо источника к небольшой площади, то можно достигнуть большой освещенности. Так поступают, например, стремясь сильно осветить препарат, рассматриваемый в микроскоп; аналогичное назначение выполняет рефлектор лампы, обеспечивающий хорошую освещенность рабочего места.

Согласно формуле (1) световой поток Φ равен произведению силы света I на телесный угол Ω , в котором он распространяется:

$$\Phi = I\Omega$$

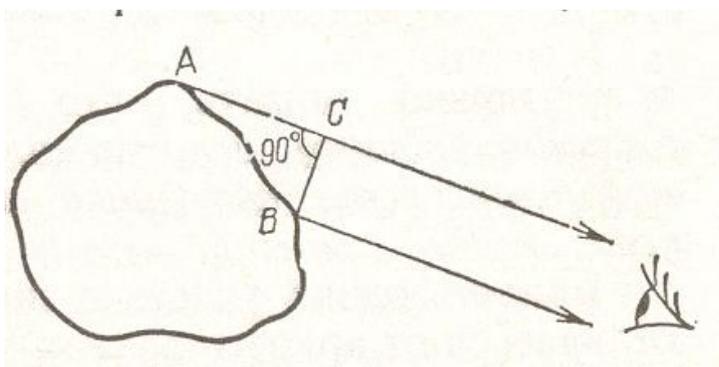
Если телесный угол $\Omega=0$, т. е. лучи строго параллельны, то световой поток также равен нулю. Это означает, что строго параллельный пучок световых лучей не несет ни-

какой энергии, т. е. не имеет физического смысла,— ни в одном реальном опыте не может быть осуществлен строго параллельный пучок. Это — чисто геометрическое понятие. Тем не менее параллельными пучками лучей очень широко пользуются в оптике. Дело в том, что небольшие отступления от параллельности световых лучей, имеющие с энергетической точки зрения принципиальное значение, в вопросах, связанных с прохождением световых лучей через оптические системы, практически не играют никакой роли. Например, углы, под которыми лучи от удаленной звезды попадают в наш глаз или телескоп, настолько малы, что они даже не могут быть измерены существующими методами; практически эти лучи не отличаются от параллельных. Однако эти углы все же не равны нулю, и именно благодаря этому мы и видим звезду. В последнее время световые пучки с очень острой направленностью, т. е. с очень малой расходимостью световых лучей, получают при помощи лазеров. Однако и в этом случае углы между лучами имеют конечное значение.

2.4 Яркость источников

До сих пор мы рассматривали только точечные источники света. В действительности источники обычно являются протяженными, т. е. рассматривая их с заданного расстояния, мы различаем их форму и размеры. Для характеристики протяженных источников, даже в том простейшем случае, когда они представляют собой равномерно светящиеся шарики, недостаточно одной только величины—силы света. Действительно, представим себе два светящихся шарика, испускающих свет равномерно во все стороны и имеющих одинаковую силу света, но разных диаметров.

Освещенность, создаваемая каждым из этих шариков на одинаковом расстоянии от их центра будет одинакова. Однако по своему виду эти шарики будут представлять сильно различающиеся источники света: маленький шарик оказывается более ярким, чем большой. Это происходит вследствие того, что при



одинаковой силе света излучающая поверхность одного шарика больше, чем второго, и, следовательно, сила света, спускаемого с единицы площади источника, в том и другом случаях различна. Отметим, что когда мы рассматриваем какой-либо источник света, для нас имеет значение не площадь самой излучающей поверхности, а размеры видимой поверхности, т. е. проекции излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную к направлению наблюдения.

Итак, мы приходим к выводу, что **для характеристики свойств протяженного источника света нужно знать силу света, рассчитанную на единицу площади видимой поверхности источника.** Эта световая величина называется **яркостью** источника; мы будем ее обозначать буквой L . Если источник имеет силу света I и площадь видимой светящейся поверхности его есть δ , то яркость этого источника равна

$$L = \frac{I}{\delta}$$

Пользуясь формулой (1), имеем также

$$L = \frac{\Phi}{\Omega \delta}$$

т. е, можно сказать, что **яркость источника равна световому потоку, испускаемому с единицы площади видимой поверхности источника внутри единичного телесного угла.**

Яркость одних участков поверхности источника может отличаться от яркости других участков. Например, различные участки пламени свечи, лампы и т. п. имеют сильно различающиеся яркости. Кроме того, яркость зависит от направления, в котором происходит излучение источника. Это связано с тем, что сила света многих источников зависит от направления.

Итак, яркость может служить для характеристики излучения какого-либо участка в заданном направлении. Вместе с тем яркость имеет большое значение в силу того, что это та световая величина, на которую непосредственно реагирует глаз.

Единицей яркости является *кандела на квадратный метр*. Такой яркостью обладает светящаяся площадка, дающая с каждого квадратного метра силу света, равную 1 кд в направлении, перпендикулярном к площадке.

Характеристики яркости различных светящихся тел приведены в таблице:

Яркость Солнца	$1,5 \cdot 10^9$
Яркость капилляра ртутной дуги сверхвысокого давления	$1,2 \cdot 10^9 - 1,5 \cdot 10^9$
Яркость металлического волоска лампы накаливания	$1,5 \cdot 10^6 - 2 \cdot 10^6$
Яркость пламени керосиновой лампы	$1,5 \cdot 10^4$
Яркость ночного безлунного неба	10^{-4}
Наименьшая различимая глазом яркость	10^{-6}

Источники света с большой яркостью (свыше $1,6 \cdot 10^5$ кд/м³) вызывают болезненное ощущение в глазу. Для того чтобы глаз не подвергался действию яркого света источников, применяют различные приспособления. Так, например, рассматривание раскаленной спирали лампы накаливания вредно и даже болезненно для глаза. Если же колба лампочки сделана из матового или молочного стекла или прикрыта арматурой в виде матового шара, то излучаемый ею световой поток исходит с большей поверхности. Благодаря этому яркость падает, тогда как световой поток практически не изменяется и, следовательно, освещенность, создаваемая лампой, также остается неизменной.

2.5 Задачи светотехники

После того как мы познакомились с основными световыми величинами, характеризующими источники света и освещаемые поверхности, мы можем перейти к рассмотрению одной из важнейших практических задач — расчету и осуществлению рационального освещения жилых и производственных помещений, а также общественных мест, где протекает жизнь и деятельность человека.

Раздел физики и техники, занятый решением этой задачи называется светотехникой. В нем исследуются вопросы правильного использования дневного света в помещениях, что достигается расчетом размеров и рационального расположения окон; другой, особенно важной и трудной задачей светотехники является расчет установок искусственного света, создающих необходимое освещение при наименьших затратах энергии и средств.

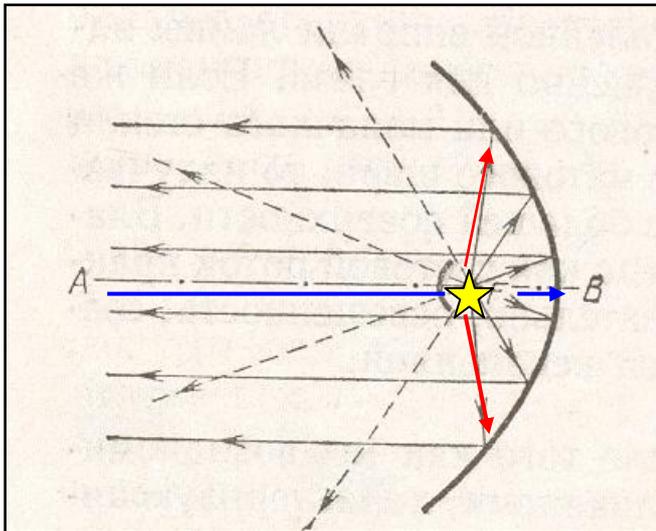
Правильно устроенное освещение обеспечивает спокойную и продуктивную работу глаз. Вследствие этого при благоприятном освещении растет производительность труда и улучшается качество продукции; вместе с тем сохраняется зрение работающих, соблюдается общая гигиена труда, уменьшается число несчастных случаев.

Для целей освещения применяются разнообразные осветительные приборы, состоящие из источника света (лампы) и осветительной арматуры. Осветительные системы различного вида не могут увеличить полный световой поток, который является величиной, характеризующей излучающий источник. Однако они играют большую роль

в перераспределении светового потока и концентрации его в нужном направлении. Таким путем достигается увеличение силы света по нужному направлению с соответственным уменьшением ее в других направлениях.

Другой важной задачей, с которой часто приходится сталкиваться в светотехнике, является создание равномерной освещенности на больших площадях.

2.6 Приспособления для концентрации светового потока



Весьма сильная концентрация светового потока по заданному направлению может быть получена с помощью зеркал определенной формы, употребляемых в прожекторах — осветительных приборах, предназначенных для освещения удаленных предметов. Обычно применяются зеркала, имеющие в любом продольном сечении вид параболы. Линия AB носит название оси параболы, а точка F — ее фокуса. Сама поверхность называется *параболоидом*, ось, общая всем параболическим сечениям — *осью* параболоида, а F — его *фокусом*. Геометрические свойства параболоида таковы, что луч, выходящий из фокуса F , отразившись в любой

точке поверхности, получает направление, параллельное оси параболоида. Если бы мы поместили точечный источник света в фокусе параболоида мы получили бы параллельный пучок света с поперечным сечением, равным отверстию зеркала. Но так как любой источник имеет конечные, хотя бы и очень малые, размеры, то можно получить пучок лучей лишь более или менее близкий к параллельному.

Для того чтобы лучи, выходящие из прожектора, расходились под малым углом, т. е. были по возможности ближе к параллельным, источник света, находящийся в фокусе прожектора, должен быть по возможности маленьким. Вполне понятно, что источник света должен быть весьма ярким.

Расходимость пучка лучей, полученного от дуговой лампы и зеркала диаметра 2 м, составляет примерно 1 угловой градус. Оптические квантовые генераторы, или лазеры, дают значительно более узкие пучки световых лучей. С помощью лазеров с сечением пучка порядка 1 см^2 удастся получить пучки лучей с расходимостью всего несколько угловых минут. Благодаря этому была осуществлена световая локация Луны: участок поверхности Луны был освещен при помощи лазера с такой яркостью, что отраженный луч можно было зарегистрировать чувствительным приемником излучения.

3. Основные законы геометрической оптики

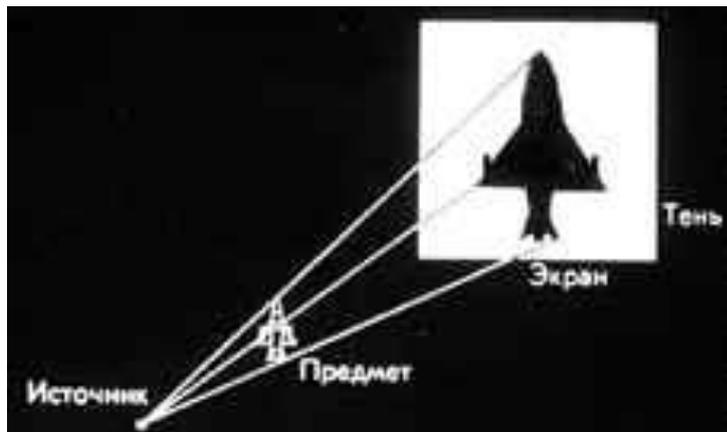
3.1 Прямолинейное распространение света

Явление распространения света описывается, в частности, законом прямолинейного распространения: «Свет в прозрачной однородной среде распространяется прямолинейно». При этом упоминается, что образование тени — одно из опытных доказательств этого закона. Однако тень может получиться только в случае, когда в однородную среду введено отличающееся от нее тело, т. е. когда среда становится оптически неоднородной.

Здесь самое время поговорить об области применимости частных физических законов. К ним относится и закон прямолинейного распространения света, он применим лишь в случае неограниченной однородной среды. Поэтому формулировка его должна быть уточнена: свет распространяется прямолинейно в прозрачной оптически однородной неограниченной среде.

Образование тени

Прямолинейность световых лучей означает, что форма тени предмета при его освещении точечным источником соответствует геометрической *центральной проекции* контура предмета (с центром в источнике). Этот закон имеет глубокий смысл, ибо само



понятие прямой линии сформировалось главным образом на основе оптических наблюдений. Закон этот встречается в сочинении по оптике Евклида (300 лет до нашей эры).

При освещении предмета *протяженным* источником света края тени оказываются размытыми. В переходную область между полной тенью и светом (в область *полутени*) попадают лучи не от всех точек источника.

Затмение Луны

Ас-

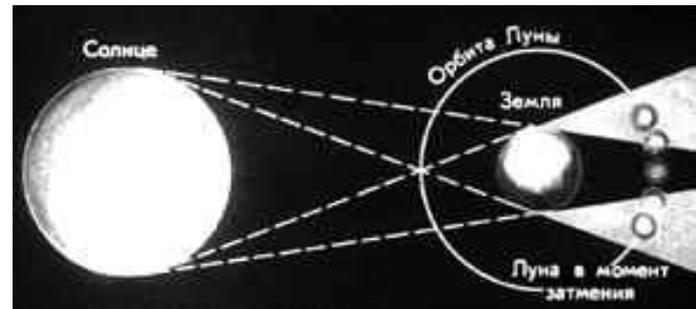
трономической иллюстрацией прямолинейного распространения света и, в частности, образования тени и полутени, может служить затенение од-

них планет другими, например *затмение Луны*, когда Луна попадает в тень Земли. Вследствие взаимного движения Луны и Земли тень Земли перемещается по поверхности Луны, и лунное затмение проходит через несколько фаз:

Частные фазы лунного затмения

Представление о прямолинейных световых лучах используется в инструментальной оптике для конструирования и расчета оптических приборов. Расходящийся пучок лучей, выходящих из одной точки (*гомоцентрический* пучок лучей), с помощью оптической системы (линзы, объектива, вогнутого зеркала) можно превратить в сходящийся. Точка пересечения этих сходящихся лучей будет действительным *изображением* соответствующей точки источника (предмета). Изображение протяженного предмета, формируемое оптической системой, представляет собой центральную проекцию предмета. Центр проекции находится в центре *входного зрачка* оптической системы. Для фотообъектива центр проекции обычно совпадает с центром диафрагмы объектива.

Физическая реализация геометрического проектирования с помощью световых лучей, т.е. формирование оптических изображений, широко используется в технике, в частности, при создании печатных микросхем.



Изготовление печатных плат

Изображенные на фотопленке элементы микросхемы проецируются на кристалл кремния, где получается подобное уменьшенное (с помощью системы линз) изображение микросхемы. Специальная обработка позволяет превратить это изображение в печатную микросхему.

3.2 Законы отражения и преломления света

Отраженный и падающий лучи лежат в плоскости, содержащей перпендикуляр к отражающей поверхности в точке падения, и угол падения равен углу отражения.

Представьте, что вы направили тонкий луч света на отражающую поверхность, — например, посветили лазерной указкой на зеркало или полированную металлическую поверхность. Луч отразится от такой поверхности и будет распространяться дальше в

определенном направлении. Угол между перпендикуляром к поверхности (нормалью) и исходным лучом называется углом падения, а угол между нормалью и отраженным лучом — углом отражения. **Закон отражения гласит, что угол падения равен углу отражения.** Это полностью соответствует тому, что нам подсказывает интуиция. Луч, падающий почти параллельно поверхности, лишь слегка коснется ее и, отразившись под тупым углом, продолжит свой путь по низкой траектории, расположенной близко к поверхности. Луч, падающий почти отвесно, с другой стороны, отразится под острым углом, и направление отраженного луча будет близким к направлению падающего луча, как того и требует закон.

Ключевым моментом в этом законе является то, что углы отсчитываются от перпендикуляра к поверхности в точке падения луча. Для плоской поверхности, например, плоского зеркала, это не столь важно, поскольку перпендикуляр к ней направлен одинаково во всех точках. Параллельно сфокусированный световой сигнал — например, свет автомобильной фары или прожектора, — можно рассматривать как плотный пучок параллельных лучей света. Если такой пучок отразится от плоской поверхности, все отраженные лучи в пучке отразятся под одним углом и останутся параллельными. Вот почему прямое зеркало не искажает ваш визуальный образ.

Однако имеются и кривые зеркала. Различные геометрические конфигурации поверхностей зеркал по-разному изменяют отраженный образ и позволяют добиваться различных полезных эффектов. Главное вогнутое зеркало телескопа-рефлектора позволяет сфокусировать в окуляре свет от далеких космических объектов. Выгнутое зеркало заднего вида автомобиля позволяет расширить угол обзора. А кривые зеркала в комнате смеха позволяют от души повеселиться, разглядывая причудливо искаженные отражения самих себя.

Закону отражения подчиняется не только свет. Любые электромагнитные волны — радио, СВЧ, рентгеновские лучи и т. п. — ведут себя в точности так же. Вот почему, например, и огромные принимающие антенны радиотелескопов, и тарелки спутникового телевидения имеют форму вогнутого зеркала — в них используется всё тот же принцип фокусировки поступающих параллельных лучей в точку.

Когда свет достигает раздела двух сред, часть его отражается, другая же часть проходит сквозь границу, преломляясь при этом, то есть, изменяя направление дальнейшего распространения.

Монета, погруженная в воду, кажется нам более крупной по сравнению с тем, когда она просто лежит на столе. Карандаш или ложка, помещенные в стакан с водой, видятся нам надломленными: часть, находящаяся в воде, кажется приподнятой и немного увеличенной. Эти и многие другие оптические явления объясняются преломлением света.

Преломление света связано с тем, что в разных средах свет распространяется с различной скоростью.

Скорость распространения света в той или иной среде характеризует оптическую плотность данной среды: чем выше скорость света в данной среде, тем меньше ее оптическая плотность.

Как изменится угол преломления при переходе света из воздуха в воду и при переходе из воды в воздух? опыты показывают, что при переходе из воздуха в воду угол преломления оказывается меньшим, чем угол падения. И наоборот: при переходе из воды в воздух угол преломления оказывается больше угла падения.

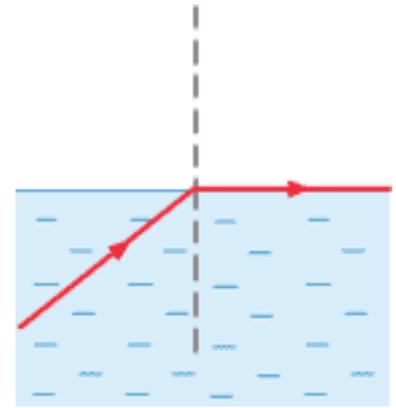
Из опытов по преломлению света стали очевидными два факта:

1. Падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения, лежат в одной плоскости.



2. При переходе из оптически более плотной среды в оптически менее плотную угол преломления больше угла падения. При переходе из оптически менее плотной среды в оптически более плотную угол преломления меньше угла падения.

Интересное явление можно наблюдать, если постепенно увеличивать угол падения при переходе света в оптически менее плотную среду. Угол преломления в этом случае, как известно, больше угла падения, и, с увеличением угла падения, угол преломления также будет увеличиваться. При некотором значении угла падения угол преломления станет равен 90° .



Будем постепенно увеличивать угол падения при переходе света в оптически менее плотную среду. С увеличением угла падения, угол преломления также будет увеличиваться. Когда угол преломления станет равным девяносто градусов, преломленный луч не переходит во вторую среду из первой, а скользит в плоскости границы раздела этих двух сред.

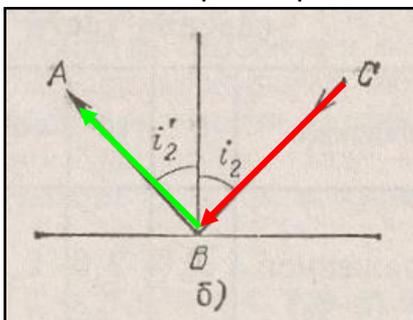
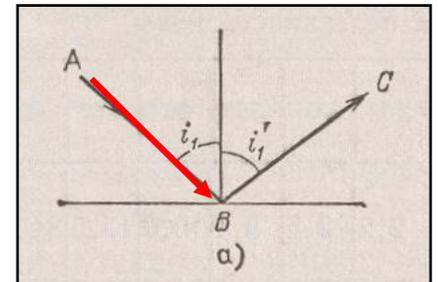
Такое явление называют полным внутренним отражением, а угол падения, при котором оно происходит – предельным углом полного внутреннего отражения.

Явление полного внутреннего отражения широко используется в технике. На этом явлении основано применение гибких оптических волокон, по которым проходят световые лучи, многократно отражаясь от стенок.

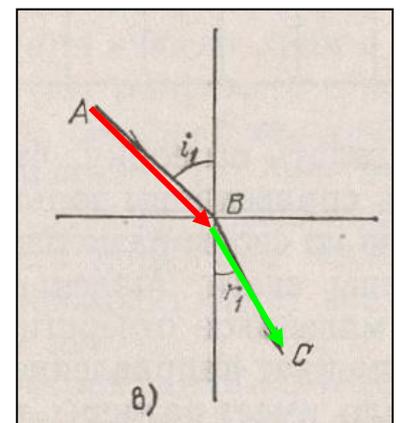
Свет не выходит за пределы волокна вследствие полного внутреннего отражения. Более простое оптическое устройство, в котором используется полное внутреннее отражение, – это обратная призма: она переворачивает изображение, меняя местами входящие в нее лучи.

3.3 Обратимость световых лучей

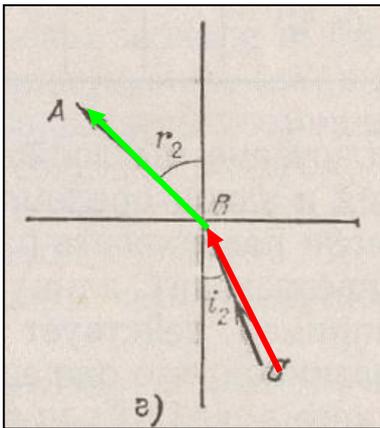
Рассматривая явления, происходящие при падении света на границу раздела двух сред, мы считали, что свет распространяется в определенном направлении. Поставим теперь вопрос: что произойдет, если свет будет распространяться в обратном направлении? Для случая отражения света это означает, что падающий луч будет направлен не слева вниз, как на рис. а, а справа вниз, как на рис. б; для случая преломления мы будем рассматривать прохождение света не из первой среды во вторую, как на рис. в, а из второй среды в первую, как на рис. г.



Точные измерения показывают, что и в случае отражения и в случае преломления углы между лучами и перпендикуляром к поверхности раздела остаются неизменными, меняется только направление стрелок. Таким образом, если световой луч будет падать по направлению СВ (рис. б), то луч отраженный пойдет по направлению ВА, т.е. окажется, что по сравнению с первым случаем падающий и отраженный луч поменялись местами. То же наблюдается и при преломлении светового луча. Пусть АВ – падающий луч, ВС – преломленный луч (рис. в). Если свет падает по направлению СВ (рис. г), то преломленный луч идет по направлению ВА, т.е. падающий и преломленный лучи обмениваются местами.



Таким образом, **как при отражении, так и при преломлении свет может проходить один и тот же путь в обоих противоположных друг другу направлениях. Это свойство света носит название обратимости световых лучей.**



Обратимость световых лучей означает, что если показатель преломления при переходе из первой среды во вторую равняется n , то при переходе из второй среды в первую он равен $1/n$. Действительно, пусть свет падает под углом i и преломляется под углом r , так что $n = \sin i / \sin r$. Если при обратном ходе лучей свет падает под углом r , то он должен меняться под углом i (обратимость). В таком случае показатель преломления $n' = \sin r / \sin i$ и, следовательно, $n' = 1/n$. Например, при переходе луча из воздуха в стекло $n = 1,50$, а при переходе из стекла в воздух $n' = 0,67 = 1/1,50$.

Свойство обратимости световых лучей сохраняется и при многократных отражениях и преломлениях, которые могут происходить в любой последовательности. Это следует из того, что при каждом отражении или преломлении направление светового луча может быть изменено на обратное.

Таким образом, **если при выходе светового луча из любой системы преломляющих и отражающих сред заставить световой луч на последнем этапе отразиться точно назад, то он пройдет всю систему в обратном направлении и вернется к своему источнику.**

Обратимость направления световых лучей можно теоретически доказать, используя законы преломления и отражения и не прибегая к новым опытам.

Список используемой литературы

1. А.Алешкевич, Л.Г.Деденко, В.А.Караваев// Издательство Физического факультета МГУ, 2001 г
2. Г. С. Ландсберг Элементарный учебник физики, том 3. // Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2004
3. Т. М. Чернощекова Из истории развития взглядов на природу света // Горький, 1982.

Ссылки на Интернет ресурсы

1. http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1165054&uri=511_0.html
2. <http://www.sduto.ru/87/103/2316/index1.1.html>