

# ЗЕРКАЛО по Брокгаузу и Ефрону

## MIRROR by Brockhaus and Ephron

Тема зеркал всегда вызывала интерес у самых разных людей. И тем не менее многое здесь пока лежит вне поля зрения науки. В наше время необычные явления, связанные с зеркалами, обнаруживают ученые самых разных областей знаний — физики, биологи, генетики, психологи... Все эти разрозненные пласты информации, возможно, соединит единое предметное целое – зеркало как категория и инструмент ноосферы; если стремиться логично увязывать все уровни знаний, по мере восхождения от нижних уровней к более высоким, вплоть до философских обобщений.

### MIRROR by Brockhaus and Ephron

**The theme of mirrors has always been of interest to a wide variety of people. Nevertheless, much is still outside the field of science. In our time, unusual phenomena associated with mirrors are discovered by scientists from a wide range of fields - physics, biology, genetics, psychology ... All these disparate layers of information, perhaps, will unite a single entity - mirror as a category and instrument of the noosphere; If one strives to logically link all levels of knowledge, as one ascends from the lower levels to the higher, down to philosophical generalizations.**

Энциклопедический словарь / Брокгауз Ф.А., Ефрон И.А.

В 86 томах с иллюстрациями и дополнительными материалами

Encyclopaedic dictionary / Brokgauz FA, Efron IA

In 86 volumes with illustrations and additional materials

<http://wiki.laser.ru/be/index.html>

### Зеркало

— Всякая гладкая поверхность, плоская или кривая, способная отражать свет по определенным направлениям относительно падающего света, в противоположность матовой, отражающей свет по всем направлениям, — называется зеркальной, а тело с такой поверхностью — *зеркалом*. Часть оптики, называемая катоптрикой (см.), излагает законы отражения света и частные случаи отражения в зависимости от формы З., которые в последнем отношении разделяются на плоские и кривые. Из последних употребительны

преимущественно сферические, и реже — эллипсоидальные (для краткости эллиптические), параболоидальные (параболические), цилиндрические и конические. Каждое из З. с кривыми поверхностями может быть выпуклым или вогнутым. Свет, отраженный З., сохраняет цветовой характер источника света, тогда как матовые поверхности, отражая свет, сообщают ему цветовые особенности самой поверхности. Чем совершеннее полировка З., тем менее примешивается к отраженному свету собственно цветовых лучей самого материала З. Обыкновенное стеклянное З., серебряное, стальное, хорошо полированное дерево, поверхность спокойной воды были бы трудно различимы между собой, если судить только по цвету отраженного от них света. Но отраженный плоским З., свет какого-нибудь предмета составляет в глазу изображение этого предмета со свойственными ему цветами. Синий или красный бенгальский огонь такими и представляются нам в зеркале или за зеркалом, тогда как матовая поверхность, напр. серая, — слегка окрашивается цветом пламени, синяя — представится ярко-синей при освещении синим огнем и почти черной при красном освещении. Изображения, составляемые З., могут быть действительные, или объективные, составляющиеся вне глаза, могущие быть приняты на бумагу и вообще всякую ширму, или же изображения составляются только в глазу. Вогнутые сферические З. вообще образуют действительные изображения в пространстве, плоские же и выпуклые З. отражают лучи так, что они составляют изображения предмета только в глазу, которому кажется, что лучи исходят из предмета, расположенного как бы за З. Изображение предмета в этом случае неправильно в том отношении, что правая сторона изображения (считаемая от него, как от действительного предмета) есть левая сторона действительного предмета, помещенного перед З., напр. правая рука человека есть левая рука его изображения. Слова, написанные на бумаге, поставленной против З., изображаются в нем написанными справа налево, и притом буквы изображения как бы перевернуты наизнанку, т. е. представляются такими, какими они видны при рассматривании написанного насквозь, на свет, с задней стороны бумаги. Письмо, как оно представляется в З., называется *зеркальным*; написанное же на бумаге зеркальным почерком представляется в З. как бы написанным обыкновенным способом.

На театральной сцене пользуются иногда большими стеклами для изображения привидений. Фигура закутанного человека, находящегося в суфлерской или иной будке, ярко освещенная, но не видимая публикой, изображается в слегка наклоненном стекле, за которым находятся различные предметы декораций или люди; изображенное привидение является как бы проницаемым. В научных исследованиях обыкновенные зеркала с ртутной, с задней стороны, наводкой не пригодны, потому что дают двойное изображение предмета, а потому употребляются металлические З. или же стеклянные, высеребранные с лицевой стороны. Кроме того требуется, чтобы поверхность З. была в точности плоской: шлифовка таких стекол представляет большие трудности. Сферические вогнутые З., т. е. отрезки сферической поверхности, дают вообще действительное и опрокинутое (обратное), увеличенное или уменьшенное, изображение предмета, за исключением того случая, когда предмет находится на расстоянии от З. меньшем, чем главное фокусное; тогда изображение его

будет кажущееся, прямое и увеличенное, т. е. оно будет казаться за З. и состояться только в глазу, вогнутые З. поэтому называются увеличительными. Приближая к такому З. лицо, можно его видеть увеличенным. Солнечные лучи, принятые на вогнутое зеркало, проходя, после отражения через главный фокус, образуют там маленький кружок — пересечение пучков лучей. Правильно сделанное З., с фокусным расстоянием в  $1/2$  метра, образует светлый кружок немного более 4 мм в поперечнике, большой яркости и высокой температуры. Солнечными лучами, отраженными от маленького вогнутого З., можно зажечь дерево, а в фокусе большого З. можно плавить металлы. По этой причине вогнутые З. называются иногда *зажигательными*. Зажигательное З. можно устроить из большого числа маленьких З., расположенных концентрическими поясами, и в каждом поясе соответственно наклоненных так, чтобы пучки солнечных лучей, отраженные этими З., пересекались между собой в фокусе зеркальной системы. Если в фокусе вогнутого З. или системы плоских З. помещено светящееся тело, то лучи, по отражении от З., составляют пучки света, слабо расходящиеся, а потому могут освещать отдаленные предметы. Подобные отражатели (рефлекторы) ныне часто употребляются в военном сухопутном и морском деле. Из плоских З. тоже можно устраивать подобные отражатели, но весьма несовершенные, и потому употребляемые при обыкновенных лампах лишь для отражения света на небольшие расстояния, в длинных комнатах и коридорах. Параболические и эллиптические З. в теории более совершенны для отражения лучей, первое — в виде пучка параллельных лучей, второе — для отражения лучей в одну точку. Трудности шлифования З. обоюродного так велики, что ни то, ни другое в точных приборах не употребляются. Цилиндрическое выпуклое З. (т. е. полированное с задней стороны) не дает действительного изображения предмета, но — лишь кажущееся. При освещении такого З. солнцем, видна лишь яркая полоска вдоль З. — это и есть кажущееся изображение Солнца. Цилиндрическое и коническое З. могут дать правильное изображение, если стоят на рисунках, сделанных при определенных отступлениях от правильности (см. Анаморфозы), на цилиндрическое З. смотрят сбоку, а на коническое — сверху, от вершины. Законы отражения света изложены в ст. катоптрика; способы шлифования З. и стекол для научных приборов — в ст. Стекла оптические; о З. для телескопов — см. Отражательные инструменты. Особенный случай З. см. в ст. Волшебное зеркало.

*Ф. Петрушевский.*

<http://meteor.laser.ru/BE/1/001/007/041/41900.htm>

*Зеркальный металл*

— Сплавы меди и олова имеют вообще желтый, оранжевый или красный цвета, смотря по относительному содержанию каждого из металлов в сплаве, за исключением лишь таких, в которых на 4 атома меди входит 1 — олова

(SnCu 4), или на 3 — меди, 1 — олова. Эти последние два сплава имеют серо-стальной цвет. Из этого сплава отливаются вогнутые и выпуклые зеркала для отражательных телескопов, оттого и название сплава (по системе Фуко). Очень часто зеркала из 3. металла заменяются стеклянными, высеребрёнными с лицевой стороны зеркалами, отражающими около 90% падающего на них света, тогда как 3. металл отражает не более 69% из вертикально падающих на него лучей.

Ф. П.

<http://meteor.laser.ru/BE/1/001/007/041/41905.htm>

Зеркала разные-Викитека

<https://ru.wikisource.org/wiki/Служебная:Поиск?search=зеркало&prefix=ЭСБЕ&fulltext=Искать&fulltext=Search&searchToken=6qabi5sf14iwzdasmllm4pbjp>

Волшебное зеркало — зеркало, в котором, согласно древнему восточному и весьма распространенному сказанию, можно видеть, что делается во всем мире, равно как прошедшее и будущее. Свойство это приписывалось зеркалу японской богини солнца Аматеразу, волшебному кубку персидского солнечного героя Джемшида и зеркалу Дионисия. Из средневековых чернокнижников Агриппа фон-Неттесгейм утверждал, что может изготовлять подобное зеркало из семи металлов. В новейшее время под именем китайских и японских волшебных зеркал стали известны металлические зеркала, с помощью которых можно получать на стене отражения фигур, рельефным образом отчеканенных на задней стороне зеркала. Все дело заключается в незаметных неровностях, которые образуются на полированной поверхности зеркала и прямо не видны. На местах, различно утолщенных, благодаря рельефу фигур, поверхность гладкой стороны зеркала от неодинаковых частичных натяжений различно изменяется, но так мало, что только при известном освещении отражение света делает их видимыми.

**Рефлекторы** или *отражательные телескопы* — оптические инструменты, назначенные для рассматривания небесных тел, в которых действительное изображение рассматриваемых предметов получается с помощью вогнутых отражающих зеркал. Вогнутое зеркало дает действительное изображение бесконечно удаленного предмета (небесное светило) на расстоянии от зеркала, равном половине радиуса кривизны зеркала, и называемом *главным фокусным расстоянием*  $F$  зеркала. Величина изображения предмета зависит от главного фокусного расстояния зеркала; если угловой диаметр светила (т. е. угол, составляемый двумя линиями, проведенными из глаза наблюдателя к двум крайним точкам диаметра светила) равен  $\alpha$  дуговым секундам, то величина изображения его, полученного при помощи зеркала с главным фокусным расстоянием в  $F$  см, будет равняться приблизительно  $\alpha F$  см, т. е. растёт

пропорционально  $F$ . Яркость изображения растет прямо пропорционально квадрату диаметра  $D$  зеркала и обратно пропорционально величине даваемых им изображений, т. е. обратно пропорционально  $F$ . Вогнутые сферические зеркала обладают сферической аберрацией (см. Катоптрика), растущей при одном и том же фокусном расстоянии весьма быстро с увеличением диаметра зеркала; это обстоятельство принуждает делать диаметр зеркала весьма небольшим в

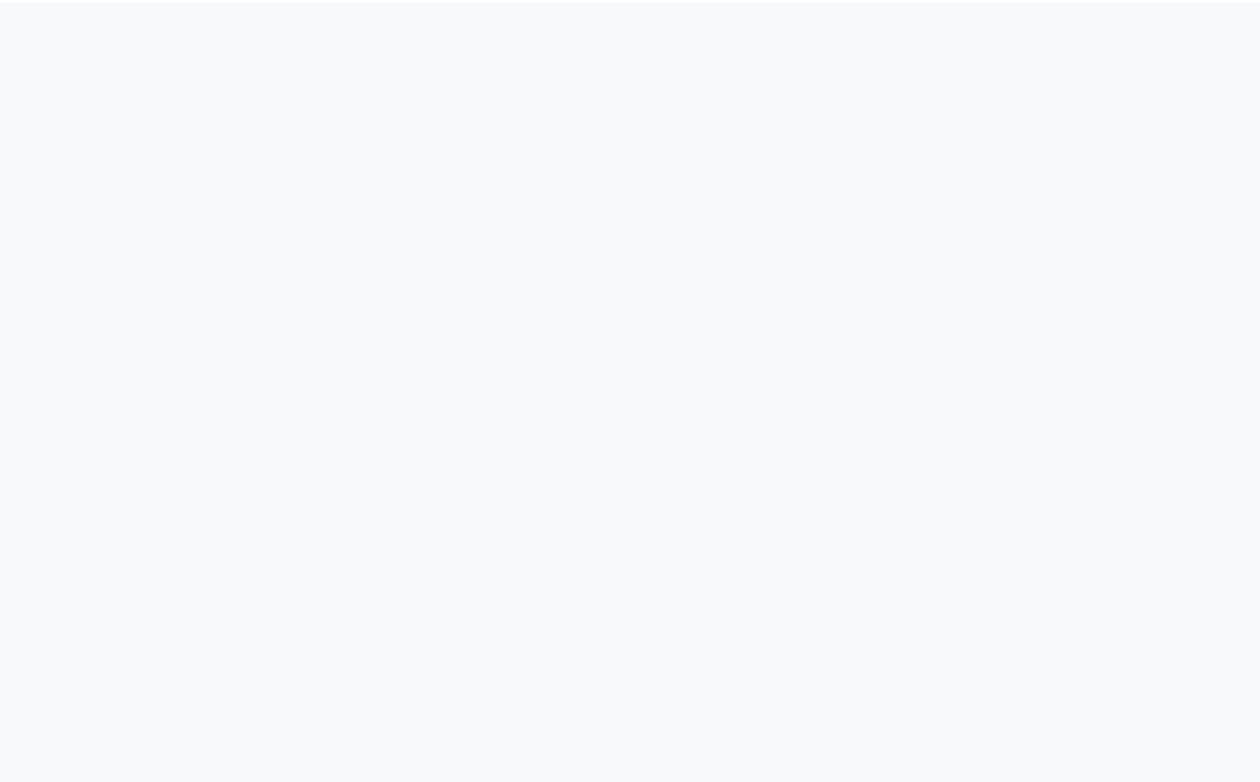
сравнении с его фокусным расстоянием (около  $1/20$ ), и придавать зеркалу, для уничтожения еще остающейся сферической аберрации, форму поверхности не шарового отрезка, но форму близкую к отрезку параболоида вращения вокруг главной оси зеркала. Получаемое от зеркала изображение рассматривается с помощью лупы-окуляра; если фокусное расстояние окуляра равно  $f_{стм}$ , то

полученное увеличение равно будет . Совокупность зеркала и окуляра дает Р. Изображение, даваемое зеркалами, лежит впереди зеркала, на пути падающих лучей, и для того, чтобы голова наблюдателя по возможности не задерживала падающих лучей, придумано было несколько расположений частей Р., удовлетворяющих этим условиям: 1) Р. Гершеля (1789 — front view telescope) имеет зеркало  $SS$  (фиг. 1), расположенное несколько наклонно к оси трубы, так что изображение получается у края трубы в  $a$ , где рассматривается окуляром  $O$ . Этот тип, очевидно, применим только к зеркалам весьма большого диаметра (телескоп Гершеля [1789],  $D = 50$  дюймов; телескоп лорда Росса,  $D = 72$  дюйма). Поле зрения равно приблизительно угловому диаметру окуляра, рассматриваемому с расстояния зеркала от него. 2) В Р. Ньютона (1668) сходящиеся лучи, идущие от зеркала  $SS$  (фиг. 2), отражаются в сторону небольшим плоским зеркалом  $p$ , расположенным под углом в  $45^\circ$  к оси большого зеркала, и дают изображение в  $b$  перед окуляром  $O$ , вделанным в трубку в боковой стенке трубы. Угол поля зрения выражается так же, как в Р. Гершеля. Вместо зеркала  $p$  выгоднее пользоваться призмой с полным внутренним отражением (см. Диоптрика). 3) В рефлекторе Грегори (1663) зеркало  $SS$  (фиг. 3) имеет в центре отверстие; лучи, идущие от изображения  $a$ , вновь отражаются от маленького вогнутого зеркала  $V$ , расположенного так, что его главный фокус лежит весьма близко к  $a$  между  $a$  и  $V$ , и, пройдя через отверстие в  $SS$ , дают новое увеличенное изображение в  $b$ , которое рассматривается окуляром  $O$ , ввинченным в основание трубы против отверстия большого зеркала; винт  $nt$  служит для точной установки зеркала  $V$ . Увеличение Р. Грегори

равно , где  $F$  и  $F'$  — главные фокусные расстояния большого и малого зеркала,  $f$  — фокусное расстояние лупы,  $p$  — расстояние между  $a$  и главным фокусом зеркала  $V$ . Угол поля зрения равен приблизительно разности угловых диаметров зеркал  $S$  и  $V$ , рассматриваемых с расстояний, соответственно равных их фокусным расстояниям. Перед Р. Гершеля и Ньютона тип Р. Грегори имеет преимущество симметричного расположения и возможности соответственным подбором зеркал  $S$  и  $V$  в высокой мере избавиться от влияния на изображение сферической аберрации. 4) В Р. Кассегрена (Cassegrain, 1672) вогнутое зеркало показанное на фиг. 3 заменено выпуклым, расположенным до места образования изображения  $a$ . Пучок сходящихся лучей, отразившись от выпуклого зеркала, делается менее сходящимся и собирается в изображение в  $b$  (фиг. 3), где рассматривается окуляром  $O$ . Увеличение и угол поля зрения определяются теми же выражениями, что и для Р. Грегори. Преимущества типа Кассегрена перед

типом Грегори заключается в его меньшей длине при том же фокусном расстоянии зеркала и в том, что сферические aberrации зеркал могут быть удобно компенсированы. В недавнее время (1876) Форстером и Фритчем (Вена) предложено было, под названием «брахителескопа», очень удобное для небольших инструментов видоизменение типа Кассегрена, в котором (фиг. 4) маленькое выпуклое зеркало помещено не по оси большого зеркала, что, кроме других преимуществ, дает возможность не снабжать зеркало  $M$  отверстием; этот тип, благодаря хорошим качествам и дешевизне, пользуется большой популярностью между любителями астрономии. Главная часть  $P$ . — зеркало, которое готовится либо из металла, либо из посеребренного стекла. Металлические зеркала льются из сплава меди и олова (682 части меди, 318 олова — сплав лорда Росса), чрезвычайно белого и плотного, шлифуются и полируются подобно оптическим стеклам, причем им раньше придается сферическая поверхность, которая затем от руки сниманием металла у краев зеркала переводится в параболоидную. Чрезвычайно трудная и сложная, требующая огромного искусства и терпения, техника изготовления больших металлических зеркал была почти всецело выработана в Англии трудами выдающихся любителей-астрономов (лорд Росс, Гершель, Коммон), которые сами строили свои инструменты. Фуко предложил заменить металлические зеркала стеклянными вогнутыми поверхностями, приготовленными обычным путем и посеребренными осаждением на них химическим путем тончайшего слоя серебра (см. Серебрение). Стеклянные зеркала менее тяжеловесны и легче готовятся, и хотя, несомненно, тускнеют быстрее металлических, но легче исправляются новым серебрением, между тем как потускневшее металлическое зеркало требует переполитровки. Огромную важность при устройстве  $P$ . играет закрепление зеркала в трубе, так как при значительном весе большого зеркала возможен прогиб его от собственной тяжести, что тотчас отзовется на качестве изображения; например, давление пальцем на спинку металлического зеркала в 2 дюйма толщиной при достаточном увеличении вызывает уже весьма заметное искажение изображения. Описание методов отливки и шлифовки зеркал и подробности о  $P$ . можно найти в J. Herschel, «The Telescope» (Эдинбург, 1861); Earl of Ross, «On the construction of Specula» («Philosoph. Transactions», 1861); L. Foucault, «Récueil de travaux»; Common, «On the construction of a five-foot telescope» («Memoirs Royal Astronomical Society», том 50, 1890—1891), а также в ряде весьма важных для данного вопроса статей Н. Schroeder'a в «Central-Zeitung f. Optik und Mechanik» за 1896, 1897 и 1898 гг. История  $P$ . см. J. Priestley, «The history and present state of Optiks» (Лондон, 1772, есть немецкий перевод) и Wilde, «Geschichte der Optik» (Б., 1838). О брахителескопах см. K. Fritsch, «Das Brachyteleskop» (В., 1877).

[А. Г.](#)



Фиг. 5. Установка рефлектора Кассегрена.  $A$  — полярная ось,  $B$  — ось склонений,  $u$  — часовой механизм,  $F$  — рефлексор,  $o$  — окуляр,  $S$  — искатель.

В Германии и России нет ни одного значительного Р. Они имеют некоторое распространение только во Франции и Англии. Р. до сих пор не могут считаться инструментами измерительной астрономии — они исключительно служат для рассматривания небесных объектов и здесь, по силе света, ввиду сравнительной легкости изготовить зеркало чем линзу соответственных размеров, а также отсутствию хроматической аберрации, они соперничают с рефракторами. Спутники Сатурна, Урана, Нептуна были открыты Гершелем и Ласселем с помощью Р. Изумительные подробности в туманностях, частью подтвержденные в новейшее время фотографией, видимы в большой Р. лорда Росса. Нужно сказать, однако, что зеркало более 4 футов в диаметре уже слишком заметно подвержено деформациям вследствие своей тяжести. Непомерный вес зеркал и монтажки делает Р. крайне неуклюжими и неповоротливыми инструментами. Мельбурнский Р. весит (конечно, без каменных пьедесталов оси) 8200 кг, из них 1600 приходится на одно зеркало. Гигантский Р. Росса (зеркало диаметром в 6 футов) может только наклоняться выше или ниже; в стороны он передвигается очень мало и нужно ждать, когда светило придет в поле зрения. Сам Росс редко

наблюдал в этот Р.; обыкновенно он пользовался 3-футовым зеркалом. Гершель чаще употреблял не 4-футовый, а 18-дюймовый Р. Зеркала Р. быстро тускнеют и их приходится заново шлифовать или серебрить. Потеря света в Р. (до 60%) гораздо больше, чем в рефракторе (около 30%). Можно считать, что при равных достоинствах диаметры зеркала Р. и объектива рефрактора относятся как 3:2. Знаменитые Р. Гершеля более не существуют. Труба и некоторые части от 4-футового зеркала хранятся в поместье Гершелей. Рефлектор Ласселя (Мальта), с зеркалом в 4 фута, уничтожен владельцем.

Из существующих Р. наибольшие:

Зеркала, в дюймах	Мастер	Система	Зеркало	
72	Лорд Росс	Ньютон	Метал.	Парсонстоун, Ирландия
60	Коммон	Ньютон	Стекл.	Ealing, англ. поместье Коммона
48	Грубб	Кассегрен	Метал.	Мельбурн, обсерватория
47	Мартен Эйшен	Ньютон	Стекл.	Париж, обсерватория
36	Лорд Росс	Ньютон	Метал.	Парсонстоун, обсерватория
33½	Анри, Секретан	Ньютон	Стекл.	Тулуза, обсерватория
31½	Фуко, Эйшен	Ньютон	Стекл.	Париж, обсерватория

*В. С.*

**Гелиограф** (сигнальный; от греческого греч. ήλιος — солнце и греч. γράφω — пишу) — аппарат, служащий для разговора на далекие расстояния с помощью отражения солнечных лучей от зеркал. Зеркало устанавливают так, чтобы отраженные лучи пошли от него по желаемому направлению к другому пункту, где имеется подобное же зеркало, посылающее лучи на первый пункт. Эти лучи представляются в виде яркой звезды, видимой на расстоянии до 60 верст при благоприятных обстоятельствах. Короткими поворотами зеркала звезду заставляют мерцать. Установлена азбука, соответствующая телеграфной азбуке Морзе: черточке отвечает продолжительный свет, точке — короткий, прекращение света — промежуткам между знаками и между словами. Опытные гелиографисты быстро воспринимают речь, сразу составляя слова на память и произнося их вслух для записи. В странах почти безоблачных, — на юге, где местность ровная, — в степях, где редко бывают туманы, там везде гелиограф имеет превосходство над электрическим телеграфом по малой своей стоимости, простоте установки и устройства, малому весу и чрезвычайной подвижности (на руках). Поэтому для военных целей, отчасти и в путешествиях такой аппарат незаменим, ибо не требует ни установки, ни охранения линии и сообщение может быть прервано противником лишь тогда, когда им захвачена сама

станция. При выборе места расположения станции необходимо, чтобы свет от другой виден был людьми лежащими на земле, фон проектирования звезды был возможно темнее, а в случае боя свет от нее не застилался дымом выстрелов. На каждой станции полагается иметь аппарат (устройство их явствует из фиг. 1, 2, 3), бинокль, 2 пары дымчатых очков, карманные часы, карандаши и бумагу. Для службы достаточно 3 человек. При установке линии на короткое время употребляются по преимуществу малые аппараты, на постоянных линиях — большие, с большой дальностью. В России действуют три вида Г.: 1) кавалерийский, весом 8 фунтов, при 3-дюймовом зеркале, дальность 12—15 верст; 2) полевой — диаметр зеркал 4½ и 5½ дюймов, вес 12—15 фунтов, дальность 20—25 верст и даже до 35 верст; 3) крепостной — диаметр зеркала 10 дюймов, вес 49 фунтов, дальность 35—45 до 60 верст. Все они одинакового устройства, получившего детальные изменения после широкого их применения в Ахалтекинскую экспедицию (1882); но лучшими все же надо считать первоначальный тип английского Г.

Установка и работа Г. производится двойко, смотря по положению Солнца относительно зеркала.

*Установка с прицелом* (фиг. 1), когда направление на другую станцию известно и когда лучи Солнца не слишком косвенно падают на зеркало, отчего отраженный свет был бы слишком слаб. Потом на шаг впереди от 1-й треноги А ставится другая с прицелом В, гелиографист становится перед зеркалом, не заслоня другой станции, и, смотря в зеркало, изменяет его положение до тех пор, пока отражающаяся звезда другой станции не попадет за центр зеркала, где проскоблена амальгама в кружке с горошину. Тогда, удерживая глазом занятое положение, рукой изменяют на другой треноге положение прицела до тех пор, пока отражение в зеркале черной точки на прицеле не поместится между

центром зеркала и отражением звезды от другой станции; тогда эта станция, мушка прицела и центр зеркала находятся на одной линии, которая и должна сохранять свое положение (а устройство зеркала таково, что от вращения его в любую сторону центр его остается всегда на месте). Когда свет отражается от зеркала, проскобленный в центре кружок дает тень, указывающую направление света; тень эту наводят на мушку прицела и, следовательно, тем самым направляют свет на противоположную станцию. Гелиографирование производят через посредство ключа (ф. 2), которым зеркало чуть-чуть выводится из своего положения; нажав на ключ, поднимают луч света, и он становится невидим на другой станции — свет исчезает. Так принято гелиографировать за границей; в России же после установления связи между станциями придают зеркалу такое положение, чтобы теневой луч приходился ниже мушки и попадал на нее лишь при нажатии ключа (ф. 3).

*Установка с дополнительным зеркалом.* Если солнце находится сзади станции (фиг. 3), то рабочая тренога А обращается к солнцу, а дополнительная тренога С с особым зеркалом — к другой станции, так, чтобы первое зеркало не закрывало собой дополнительного. Гелиографист становится за дополнительным зеркалом и, смотря поверх него в рабочее, вращает первое, пока не увидит его отраженным во втором, затем в этом отраженном отыскивает звезду другой станции и, перемещая глаз, подводит звезду за центр дополнительного зеркала и устанавливает приборы, пока не увидит центр рабочего зеркала, отраженный центр дополнительного и звезду на одной линии. После этого переходят к рабочему зеркалу и направляют тень его на центр дополнительного зеркала, на котором наклеен кружок белой бумаги. Тогда схема передачи и сама передача будут одинаковы с объясненными в предыдущем случае. Если место другой станции неизвестно, то водят светом по горизонту, изменяя наклон зеркала и, в свою очередь, если заметят мелькнувшую звезду другой станции, сперва по памяти наводят на ее место свет и ждут нового ее появления, по которому и поправляют положение зеркал до окончательной установки. Г. могут работать не только солнечным, но и лунным светом, ночью, но не далее 15 верст, а также другими искусственными источниками света (лампами) до 5 верст (см. [Сигнализация](#)). Ср. Витковский, «Военная телеграфия» (1881); Кудинов, «Гелиографы» (1883); Максимович, «Руководство по гелиографному делу» (1884); С. А. Смирнов, «Световой оптический телеграф» (1885); R. v. Fischer-Freuenfeld «Die Kriegstelegraphie in d. neueren Feldzügen Englands» (Берлин, 1884); Ternaut «Les telegraphes» (Париж, 1881).

К. И. В—о.

**Катоптрика** (κατά — внутри, ὄπτοισι — видеть) — часть оптики, излагающая законы отражения света от зеркальных поверхностей и применение этих законов к устройству оптических инструментов. Когда световая волна идет из одной среды в другую (см. [Диоптрика](#), [Свет](#)) и скорость света в этих двух средах неодинакова, то на поверхности их раздела образуются две системы волн — одна преломленная, продолжающая свой путь в среде второй, другая отраженная, продолжающая свой путь в первой среде. К. исследует законы распространения отраженных волн, пользуясь для этого общим упрощающим приемом геометрической оптики — именно заменой рассмотрения волн (сферических) рассмотрением их радиусов — или световых лучей. Отражение света от поверхностей в зависимости от природы поверхности бывает двух родов: 1) правильное, зеркальное, происходящее от свободной поверхности жидкостей и от блестящих полированных поверхностей стекла, металла, камней и т. д. (см. [Зеркало](#)); подобное отражение характеризуется тем, что каждый точно ограниченный пучок лучей дает при отражении тоже только один, точно ограниченный пучок, направленный в одном точно определенном направлении; 2) рассеянное, диффузное — от шероховатых поверхностей, дающих от падающего пучка целый ряд световых лучей, расходящихся по всевозможным направлениям. Обыкновенно вследствие несовершенств полировки даже при зеркальных поверхностях отраженный свет осложняется рассеянным светом; чем совершеннее полировка, тем рассеянного света меньше <sup>[1]</sup>. О причинах появления рассеянного света см. Свет. К. занимается исключительно изучением законов правильного отражения <sup>[2]</sup>, не входя притом в рассмотрение тех особенных свойств светового луча (поляризация, окрашивание), которые он может получить при отражении. Та часть светового луча, которая лежит между источником и поверхностью раздела сред, назыв. падающим лучом, дальнейшая часть луча — отраженным. Падающий и отраженный лучи связаны следующими законами (фиг. 1): 1) Каждый падающий луч  $AB$  дает всего один отраженный луч  $BC$ . 2) Если в точке падения луча проведем к отражающей поверхности ( $MN$ ) касательную плоскость  $DBE$ , а к последней в точке падения — перпендикуляр  $BH$ , то падающий луч, перпендикуляр и отраженный луч лежат в одной плоскости. 3) Угол, образованный падающим лучом с перпендикуляром  $BH$ , — угол  $i$ , называемый углом падения, — равен углу, образованному отраженным лучом с тем же перпендикуляром — углу  $i'$ , называемому углом отражения. Все эти положения объединяются в одном законе, высказанном Ферматом, что между двумя данными точками на падающем и отраженном луче путь света есть кратчайший, т. е. что путь  $ABC$ , обусловленный вышесказанными законами, короче всякого другого возможного пути  $AB_1C$ ,  $AB_2C$  и т. д. При отражении света от поверхности, отделяющей одну среду от другой, оптически более плотной (отражение идущих в воздухе лучей от стекла, жидкостей, металлов), всегда отражается лишь часть света, остальная преломляется; при отражении же света от поверхности менее плотной среды возможен случай полного (внутреннего) отражения (см. [Диоптрика](#) <sup>[3]</sup>). Расходящийся пучок света, заключенный между двумя крайними лучами  $AB$ ,  $AB_1$ , идущими из той же точки  $A$  и наклоненными друг к другу под углом  $\alpha$ , смотря по форме отражающей поверхности и расстоянию от нее точки  $A$ , образует отраженный пучок света, который может быть либо тоже расходящимся, притом в случае плоской поверхности с тем же углом

расхождения (фиг. 2;  $\alpha' = \alpha$ ), а при отражении от кривой поверхности — расходящимся (фиг. 3) или сходящимся (фиг. 4). В случае, если отраженный пучок расходящийся, наблюдателю источник света кажется лежащим за отражающей поверхностью в точке пересечения  $A$  продолжений отраженных лучей. Эта мнимая точка исхождения лучей  $A$  назыв. мнимым, или кажущимся, изображением точки фиг. 3 и 4. В случае образования сходящегося пучка лучей — точка пересечения лучей  $T'$  дает перед зеркалом действительное изображение точки  $A$  (фиг. 4). Если вместо точки  $A$  будет предмет, представляющий совокупность множества точек, излучающих собственный или отраженный свет, то получится от каждой точки предмета мнимое или действительное зеркальное изображение; совокупность этих изображений дает мнимое или действительное зеркальное изображение предмета. О свойствах симметрии зеркальных изображений см. [Зеркало](#).

*Плоские зеркала.* Простейший случай отражения представляет отражение от плоского зеркала. Мнимое изображение точки  $A$  (фиг. 2) получается в  $A'$  на расстоянии от зеркала  $MN$  равном  $A'K = AK$ , и в этом случае  $\alpha' = \alpha$ . Совокупность точек, представляющих предмет  $AB$ , дает за зеркалом мнимое изображение его  $ab$  (фиг. 5), равное предмету по величине и расстояние точек которого от зеркала равно расстоянию соответствующих точек предмета от зеркала. Поэтому человек, смотрящий в зеркало, увидит свое изображение за зеркалом на таком расстоянии от него, на каком он сам находится перед зеркалом, т. е. зеркало всегда будет находиться на полпути между человеком и его мнимым изображением <sup>[4]</sup>; отсюда ясно, что зеркало должно иметь половину роста человека для того, чтобы он мог всего себя в нем видеть. Если поворачивать зеркало вокруг оси параллельной его плоскости, то угол падения луча, направленного на зеркало, а следовательно, и угол отражения его изменятся, причем если зеркало отклонить на угол  $\alpha$ , то отраженный луч отклонится на угол  $2\alpha$ . На этом основан способ так называемого зеркального отчета, служащий для наблюдения и измерения весьма небольших угловых поворотов. Пусть имеется свободное вращающееся вокруг какой-либо оси тело (фигура 6; на ней ось перпендикулярна бумаге и пересекает ее в точке  $a$ ); прикрепим к телу зеркало  $ST$ , вращающееся вместе с телом, и установим на некотором расстоянии  $l$  от зеркала зрительную трубу, посредством которой наблюдаем мнимое изображение в зеркале шкалы  $MN$ , расположенной под трубой, перпендикулярно к оси вращения  $a$ ; при положении зеркала  $ST$  мы видим в трубе деление  $o$  шкалы; при повороте предмета, а с ним и зеркала, в положение  $S'T'$ , на угол  $\alpha$ , мы увидим в трубе уже  $x$ -ое деление шкалы, так как теперь луч  $xa$ , идущий от него, отразившись от  $S'T'$ , попадет в трубу; находим угол  $\alpha$  из зависимости:

Если, например,  $l = 2$  м,  $x = 1$  см, то  $\alpha = 17$  секунд (угл.). Этот весьма чувствительный способ (Гаусса и Поггендорфа) отсчета особенно часто применяется для наблюдения небольших поворотов магнитных стрелок в гальванометрах (см.). На подобном же принципе основан целый ряд угломерных приборов, как то: секстант (см.), гониометр (см.) и т. д., также гелиостаты и тому подобные приборы. Мнимое изображение одного зеркала по отношению к другому зеркалу играет роль действительного изображения; поэтому изображение одного зеркала в другом получается с передачей всех мнимых изображений первого. Это дает объяснение явлениям, происходящим в наклоненных друг к другу зеркалах. Если два зеркала  $P$  и  $Q$  наклонены друг к другу под углом  $\varphi$  и между ними помещена светящаяся точка  $L$ , то вообще увидим внутри зеркал целый ряд изображений светящейся точки, расположенных по кругу, по окружности которого находится и светящаяся точка  $L$ ; число их увеличивается с уменьшением угла  $\varphi$ . Это объясняется тем, что мнимые изображения  $L$  в двух зеркалах, отражаясь от противоположных зеркал, дают пару новых изображений, которые, в свою очередь, вызывают новые изображения и т. д. Бертен показал, что число  $N$  этих изображений, лежащих по окружности круга, лежит между пределами

и

Если угловое расстояние предмета  $L$  от одного зеркала  $P$  есть  $\theta$ , следовательно, от другого ( $Q$ )  $\varphi - \theta$ , то полное число изображений состоит из совокупности двух рядов изображений, составляющих с зеркалами углы  $\theta$ ,  $(\theta + \varphi)$ ,  $(\theta + 2\varphi)$ ... и  $(\varphi - \theta)$ ,  $(2\varphi - \theta)$ ,  $(3\varphi - \theta)$ ... и т. д. Одни из этих изображений (полученные некрatным числом отражений) представляются симметричными, но не налагающимися на предмет, другие (полученные кратным числом отражений) налагающимися на него. На многократном отражении между наклоненными зеркалами основан калейдоскоп (см.). Если  $\varphi = 0$ , т. е. зеркала  $P$  и  $Q$  параллельны, то число изображений теоретически бесконечно. В обыденной жизни (см. [Зеркало](#)) применяют обыкновенно прозрачные стеклянные зеркала, покрытые металлическим, отражающим свет слоем с задней стороны, поэтому луч раньше, чем достигнуть отражающей поверхности, должен пройти через слой стекла и, отразившись, снова пройти через тот же слой (фиг. 7). При этом весьма малая часть света  $AmO$  отражается прямо от передней поверхности стекла и дает свое слабое мнимое изображение  $a$ ; часть же света, отраженного от задней поверхности, попадает на переднюю, отражается от нее на заднюю и дает, пройдя путь  $AstqxyO$ , свое изображение  $a_2$  и т. д. Главное изображение  $a$  получается от луча  $AnprO$ , дважды преломленного и раз отразившего. Слабые изображения  $a$ ,  $a_2$  и т. д. едва заметны при малых углах падения, но становятся весьма заметными при больших углах. Поэтому в измерительных и научных приборах применяют обыкновенно зеркала с отражающею поверхностью — в прежнее время металлические, теперь стеклянные посеребренные — или призмы с полным внутренним отражением (см. [Призма](#)).

*Сферические зеркала.* При отражении от кривых поверхностей расходящийся пучок света, отразившись, может дать либо тоже расходящийся пучок (фиг. 3), в каком случае изображение получается мнимое, либо сходящийся (фиг. 4), в каком случае оно получается действительным. Можно поставить себе задачу — определить свойства поверхности, отразившись от которой, лучи дадут одно правильное, действительное или мнимое, изображение источника света; такая поверхность называется апланатической. Математический анализ вопроса выясняет, что этому условию для действительных изображений удовлетворяет поверхность эллипсоида вращения вокруг большей оси; если в одном фокусе его поместить светящуюся точку, то отраженные лучи пересекутся все в другом фокусе. Если источник света находится весьма далеко, то условию апланатизма удовлетворяет параболоид. Но так как поверхность шара легче всего выполнить технически, то в К. довольствуются рассмотрением свойств сферических зеркал. Отражающая поверхность шара называется выпуклым зеркалом, если выпуклость его направлена к источнику света, и вогнутым, если к источнику направлена вогнутость. Точка  $S$  (фиг. 8) пересечения зеркала линией, соединяющей центр его с источником, назыв. вершиною зеркала; линия же эта, на которой лежит обыкновенно и изображение, называется главною осью зеркала. Угол, под которым из центра шаровой поверхности видно само зеркало, называется его угловым отверстием ( $MCN$ ), диаметр зеркала тоже иногда называют его (линейным) отверстием. Зеркала с небольшим отверстием ( $10—15^\circ$ ) с достаточною точностью апланатичны. Если источник находится в таком большом расстоянии, что лучи, идущие от какой-либо точки его, близко параллельны между собою, то, отразившись от такого зеркала, от разных точек его (фиг. 8), они пересекутся в одной точке  $F$ , называемой главным фокусом зеркала, и дадут в случае вогнутого зеркала — действительное, в случае выпуклого — мнимое изображение

предмета, лежащее на расстоянии от центра кривизны  $CF$ , равном  $r$  где  $r$  — радиус шаровой поверхности. Если светящуюся точку от бесконечности будем приближать к вогнутому зеркалу, то изображение ее будет перемещаться вдоль главной оси, приближаясь к центру кривизны зеркала  $C$ , и наконец совпадет с этим центром, когда и светящийся предмет будет в центре зеркала, т. е. тогда предмет и его изображение совпадут. По мере того, как

точка, приближаясь к зеркалу, будет перемещаться от  $C$  к  $F$ , изображение будет удаляться от  $C$ , и наконец, когда точка придет в  $F$ , изображение ее уйдет по оптической оси бесконечно далеко. Приближая точку еще больше, заметим, что теперь лучи отражаются уже расходящимся пучком, следовательно, дают мнимое изображение, которое по мере приближения предмета от  $F$  к вершине быстро приближается от бесконечности тоже к вершине. Во всех положениях точки  $L$  она связана так с положением своего изображения  $J$ , что, поместив точку в  $L$ , мы получим изображение в  $J$ , поместив же точку в  $J$  — изображение получим в  $L$ ; по причине этих свойств эти две точки называют сопряженными фокусами. Положение этих точек по отношению к зеркалу определяется выражением

где  $F$  — расстояние главного фокуса от вершины зеркала,  $d$  и  $f$  — расстояния от той же точки источника света и его изображения.

при	1)		действительное изображение
	2)		
	3)		
	4)		
	5)		
	6)	$f$ — мнимое изобр.	

В первых четырех случаях изображение получается действительным пересечением лучей: если в место пересечения лучей поставим экран, то на нем получим изображение светящейся точки; в случае 5-м изображение находится бесконечно далеко или практически вовсе не образуется; в 6 случае изображение мнимое. Если источником света служит предмет  $S$ , то в сопряженном его фокусе получается изображение его (фиг. 9); в первых четырех случаях оно действительное и опрокинутое, а в шестом (фиг. 10) — мнимое и прямое. Величина изображения  $Y$

при	1)		Действительное изображение
	2)		
	3)		
	4)		
	5)		Мнимое изображение
	6)		

Величина изображения солнца в зеркале с радиусом  $R$  будет  $= 0,0045R = 0,009F$ . Если  $F = 5$  метрам, то величина изображения солнца  $= 45$  млн. Если светящаяся точка находится не на главной оптической оси, а на некоторой побочной, то изображение получается на другой побочной оси, сопряженной с первой и образующей с главной осью такой же угол, как и первая. Выпуклые зеркала от расходящегося пучка света дают

исключительно мнимые изображения. Главный мнимый фокус их (фиг. 11) — место схождения продолжений лучей, отраженных от зеркала, если источник света находится на главной оси бесконечно далеко — лежит за

зеркалом на расстоянии от него равном  $f$ . По мере приближения точки от бесконечности к зеркалу мнимое изображение ее перемещается от главного фокуса  $F$  к зеркалу. В выпуклых зеркалах зависимость между  $d$ ,  $f$  и  $F$  дается выражением

откуда и следует, что при

1)	
2)	
3)	

Если источником света служит предмет, то во всех случаях выпуклое зеркало дает мнимое прямое изображение его; величина изображения будет всегда меньше предмета  $L$ . Ньютон дал очень простую формулу, связывающую величины  $f$ ,  $d$  и  $F$  для всякого сферического зеркала. Если считать  $f$  и  $d$  не от вершины зеркала, а от точки  $F$ , то расстояния  $f_f$  и  $d_f$  связаны будут равенством

Если в этом равенстве считать направления по одну сторону фокуса за положительные, а по другую за отрицательные, то оно может дать нам положение сопряженных фокусов в выпуклом и вогнутом зеркалах. На свойствах вогнутых зеркал основано устройство катоптрических телескопов, или рефлекторов.

*Сферическая абберация.* Сферические зеркала лишь приблизительно апланатичны. Если светящаяся точка находится в бесконечности, то для некоторого пучка, составляющего с радиусом угол  $i$ ,  $F = r/2$ , как бы следовало по формуле, а равно

$i = 1^\circ$	$0,49994r$
$i = 2^\circ$	$0,49969r$
$i = 5^\circ$	$0,49809r$
$i = 10^\circ$	$0,49229r$
$i = 15^\circ$	$0,48236r$

$i = 20^\circ$	$0,45552r$
----------------	------------

Вообще для некоторого угла  $i$  расстояние фокуса от вершины равно

Лучи пересекаются на главной оси так, что точка пересечения краевых лучей будет лежать ближе к вершине, чем точка пересечения центральных. Явление это называется сферической аберрацией зеркала. Пересечение лучей образует поверхность, назыв. каустической поверхностью (см. Зажигательные кривые). На фиг. 12 изображен разрез половины каустической поверхности вогнутого зеркала. Форма каустической поверхности зависит от расстояния светящейся точки; если светящаяся точка лежит бесконечно далеко, то каустическая поверхность называется главной. Если пересечь главную каустическую поверхность плоскостью, перпендикулярною к оси и проходящею через фокус центральных лучей, то получим в сечении кружок, радиус которого  $S$  называется главной поперечною аберрацией. Расстояние по оси  $\lambda$  между фокусами крайних краевых и центральных лучей называется главной продольною аберрацией. Величины  $\rho$  и  $\lambda$  определяются следующими выражениями:

и

где  $R$  — радиус отверстия зеркала, а  $r$  — радиус кривизны. Каустическая поверхность имеет наиболее узкое сечение в точке, отстоящей от фокуса центральных лучей на расстоянии  $\frac{3}{4}\lambda$ ; в этом месте радиус сечения ее равен  $\frac{1}{4}\lambda$ . Другим следствием сферической аберрации является искривление изображения; изображение удаленных плоских предметов представляется выпуклым и обращенным выпуклостью к зеркалу; изображение предметов, находящихся в центре, вполне правильно; изображение предметов, находящихся между центром и зеркалом, обращено к зеркалу своею вогнутостью. Аберрация делает невозможным получение точных изображений с помощью сферических зеркал, и поэтому в

приборах, в которых требуется достижение вполне правильных изображений (рефлекторы, прожекторы), пользуются параболическими зеркалами. Для этой цели зеркала шлифуются сначала сферическими, а затем от руки придают зеркалам параболическую форму, отшлифовывая края сильнее центра <sup>161</sup>. Другой (менее совершенный) способ исключения сферической aberrации, придуманный полк. Манженом, применяется в прожекторах (см.): в них зеркало представляет двояковогнутую чечевицу, посеребренную на задней стороне (фиг. 13). Кривизны поверхностей выбраны так, что крайние лучи, преломившись дважды через большую толщину стекла, пересекутся в той же точке что и центральные лучи.

*Цилиндрические и конические зеркала.* Цилиндрические и конические зеркала (выпуклые и вогнутые) дают искаженные изображения предметов; наоборот, можно приготовить искаженные рисунки предметов, которые, будучи рассматриваемы в цилиндрическом или коническом зеркале определенной кривизны, дадут впечатление правильного рисунка. Такие рисунки называются анаморфозами.

*История К.* Равенство углов падения и отражения, по свидетельству Плутарха, известно было еще философам школы Платона (329—447). Определенно высказал его только Евклид (330 д. Р. Хр.) в своей «Катоптрике» (издана в первый раз в Париже, 1557); в этом же сочинении встречается впервые точное разграничение явлений преломления (διάκλασις) и отражения (κάτακλασις). Более общий принцип кратчайшего оптического пути был высказан позже Героном Александрийским (150 д. Р. Хр.), затем Ферматом (1601—1665) и Мопертюи (1698—1759). Вопрос об отражении между зеркалами под углом вполне разрешен был лишь недавно Бертенем (1850); изобретение калейдоскопа Брюстером относится к 1818 году. Явления отражения от кривых зеркал были известны еще, быть может, в глубокой древности. В первые дни Рима Нума (714—671) будто бы пользовался зажигательным зеркалом для зажигания огня Весты. По свидетельству Цеца (византийский историк XII стол.), Архимед (287—212 до Р. Хр.) будто бы

вогнутым зеркалом зажег флот Марцелла, а по свидетельству Зонара, неоплатоник Прокл (412—485) тем же способом зажег у Константинополя флот Виталина. Вопрос о зажигательных свойствах зеркал пользовался в средние века большою популярностью — им занимались Шотт, Кирхер и затем позже Бюффон (1707—1788). На положение главного фокуса у зеркал впервые указал Рожер Бакон (1214—1294) в «Opus majus» (1267), но верное его положение показал Порта (1058). Основное уравнение зеркал  $df = F^2$  дано было Ньютоном в 1764 г. в его «Optica». На существование сферической аберрации указывал еще Декарт (1596—1650), на каустическую поверхность Чирнгауз (1682). Подробнее изучали свойства каустиков Делагир (1060) и Ив. Бернулли (1692); вопрос этот, представляющий большой математический интерес, изучали позже Малюс (1811), Жергон и Левисталь. Когда Цучи (1616), Мерсенн (1844), Грегори (1663), Ньютон (1668) и др. начали применять вогнутые зеркала к телескопам, то явились попытки уничтожить влияние сферической аберрации. Кассегрен (1675) старался уничтожить его, комбинируя вогнутое зеркало с выпуклым, имеющим противоположную аберрацию. Еще в 530 г. Антемий указывал на апланатичность эллипсоидальных зеркал; позже Бакон советовал придать зеркалам форму параболоидов. Первая попытка выполнить это была сделана Мэджем (1777), но лишь знаменитый Фуко (в 1857—1859 г.) выработал правильную техническую систему придавания зеркалам параболоидальной формы. Подробнее К. и ее литературу см. Verdet, «Leçons d'Optique»; Mascart, «Traite d'Optique» и др.

[А. Гершун.](#)

## Примечания [\[править\]](#)

1. [Перейти↑](#) Нет определенного предела шероховатости, при котором диффузное отражение переходит в зеркальное. В оптике доказывается, что для зеркального отражения необходимо, чтобы величина  $2h\cos i$ , где  $h$  высота неровностей на поверхности, а  $i$  угол, под которым свет падает на поверхность, составляла всего малую долю длины световой волны, которая и сама чрезвычайно мала. При значительном наклоне ( $i$  велико,  $\cos$  мал) даже при большом  $h$ , величина  $2h\cos i$  делается весьма малой, т. е. может получиться зеркальное отражение от шероховатых поверхностей (отражение изображения свечи, окна от гладкой бумаги).
2. [Перейти↑](#) Притом от поверхностей достаточной величины; отражение от весьма малых поверхностей искажается явлением дифракции (см.).
3. [Перейти↑](#) О количестве отраженного света см. [Свет](#).
4. [Перейти↑](#) На этом основан способ определения толщины стекла в зеркалах. К зеркалу приставляют заостренную палочку (карандаш) и определяют на глаз расстояние  $l$  между концом карандаша и его изображением.

Половина  $l$ , умноженная на коэффициент преломления стекла (1,5), т. е.  $l/2 \times 1,5 = 3/4l$ , дает толщину стекла.

5. **Перейти**↑ Т. е. такими, которые одним движением или вращением вокруг оси, параллельной ребру зеркал, можно привести в совпадение с предметом  $L$ .
6. **Перейти**↑ Чтобы перейти от сферы к параболоиду, достаточно, даже у больших зеркал, снять с краев стекла слой чрезвычайной тонкости; так, напр., в большом зеркале лорда Рооса ( $R = 1646$  см,  $D = 45,5$  см) толщина снятого на краях слоя равнялась  $1/400$  мм

*Фокус оптический — точка, в которой сходятся лучи света и теплоты, падающие на зеркало (оптическое) или оптическое стекло, отражающиеся от первого или преломляющиеся во втором. Оптические  $\Phi$ . зеркал совпадают в известных случаях с математическими — для отрезков эллипсоида и параболоида. См. Оптич. стекла.*

**Поляризация света** — I. Определения. — II. Прямолинейно поляризованный свет. — III. Эллиптически поляризованный свет. — IV. Источники поляризованного света. — V. Распознавание поляризованного света. — VI. Отражение и преломление поляризованного света. — VII. Вращение плоскости П. — VIII. Интерференция поляризованного света.

I. П. света названо было явление особого видоизменения естественных световых лучей, исходящих от обыкновенного источника света, при котором лучи приобретают как бы различные свойства по различным направлениям, перпендикулярным к направлению луча; такое свойство лучей может быть вызвано в самом источнике света, если поставить последний в некоторые определенные условия (см. ниже), но оно может быть искусственно придано и лучам, вышедшим из источника света в естественном их состоянии. Общепринятая теория света Френеля, объясняющая явления света колебанием частиц эфира, передачей колебания от частицы к частице и являющимся, таким образом, распространением в эфире волн, вполне объясняет и явление П. света предположением о различной возможной форме путей колебания частиц эфира. Эта теория предполагает, что в неполяризованном естественном луче частицы эфира колеблются каждая в плоскости перпендикулярной к лучу  $J$  (фиг. 1) по прямой линии, проходящей через положение равновесия частицы; направление этой прямой линии непрерывно и чрезвычайно быстро переходит из одного положения  $a$  в другое  $b$ , далее в  $c$  и т. д., но оставаясь постоянно в одной плоскости; подробности о возможных формах колебания частиц у естественного луча см. Свет.

Если колебания частиц эфира происходят не по всем прямым, возможным в плоскости  $A$ , перпендикулярной к лучу (фиг. 2), а постоянно лишь по одной прямой  $ab$ , то мы говорим, что луч *прямолинейно поляризован*: плоскость  $BB$ , проходящую через луч и путь колебания частицы, называем *плоскостью колебания прямолинейно поляризованного луча*; плоскость же  $CC$ , проходящую тоже через луч и перпендикулярную к плоскости колебаний, принято наз. *плоскостью П. луча* <sup>[1]</sup>. Таким образом, луч естественный мы можем себе представить, как луч прямолинейно поляризованный, у которого плоскость колебания, а следовательно, и плоскость П. непрерывно меняются. Когда частица эфира движется вокруг своего положения равновесия  $o$ , описывая непрерывно в плоскости, перпендикулярной к лучу, один и тот же эллипс (фиг. 3), то мы говорим, что это луч и свет *эллиптически поляризованный*.

Эллипс этот может быть весьма различного вида; он может быть весьма растянутым и в конце концов перейти в прямую линию (*прямолинейно поляризованный луч*); или обе оси его могут быть равны, и тогда эллипс перейдет в круг и свет называется *поляризованным по кругу* (фиг. 4). Распространение колебания в случае луча, поляризованного эллиптически или по кругу, нужно себе представить так, как это изображено на ф. 5.

Точки  $o$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  суть положения равновесия эфирных частиц на луче  $AB$  движущихся по окружности эллипсов, плоскости которых перпендикулярны к лучу. Когда частица  $o$  находится в положении  $o'$ , то частица  $a$  находится в  $a''$ , а положения частиц  $b$ ,  $c$ ,  $d$  будут  $b''$ ,  $c''$ ,  $d''$ . Если мы эти положения соединим непрерывной чертой, то получим винтовую линию, начерченную на эллиптическом цилиндре. Через мгновение  $a$ , двигаясь по направлению стрелки, из  $a''$  придет в  $a'$ , настолько же передвинутся другие частицы, и винтовая линия повернется на  $a''a'$  вокруг  $AB$ .

II. *Прямолинейно поляризованный свет и его свойства.* Способы, посредством которых искусственно можно превратить свет естественный в прямолинейно поляризованный, следующие: 1) *Отражением света.* Отразим луч естественного света  $ab$  от стеклянной пластинки  $fghi$  (фиг. 6) так, чтобы угол, составляемый лучом и перпендикуляром к пластинке в точке  $b$  (угол падения), равнялся приблизительно  $5^\circ$ .

Отраженный луч  $bc$  будет прямолинейно поляризован; плоскость П. совпадает с плоскостью падения, т. е. плоскостью, проведенной через падающий и отраженный луч; плоскость колебаний к ней перпендикулярна. Если заставим луч упасть на другое зеркало, параллельное первому, то он отразится вполне по направлению  $bd$ . Если же мы станем вращать верхнее зеркало вокруг луча  $bc$ , как

вокруг оси, так чтобы угол падения луча на верхнее зеркало оставался равным  $55^\circ$  (верхнее зеркало уже не будет тогда параллельным нижнему), то мы заметим, что по мере поворачивания верхнего зеркала отраженный свет будет слабеть, совершенно исчезнет, когда зеркала будут скрещены (верхнее зеркало повернуто на  $90^\circ$ ; см. положение зеркал  $AB$  и  $S$  на фиг. 9), появится при выходе зеркала из этого положения и достигнет снова нормальной силы, когда после поворота верхнего зеркала на  $180^\circ$   $ab$ ,  $bc$  и  $cd$  будут опять лежать в одной плоскости (зеркала не параллельны друг другу). При повороте верхнего зеркала на  $270^\circ$  луч снова не отразится, но вновь появится, когда зеркало после поворота на  $360^\circ$  снова вернется в свое прежнее положение (фиг. 6). Угол  $\alpha$ , составляемый плоскостями проведенными через  $a - bc$  и через  $bc - cd$ , называется *азимутом* зеркал друг относительно друга; итак, свет вполне отражается, когда азимут  $0^\circ$  и  $180^\circ$ , и совершенно не отражается когда азимут  $90^\circ$  и  $270^\circ$ . В промежуточных положениях количество отраженного света определяется по закону Малюса (1808), гласящему, что количество отраженного света  $J'$  равняется количеству падающего  $J$ , умноженному на квадрат косинуса угла азимута  $\alpha$ :

На фигуре 7 графически изображено количество отраженного света при различных азимутах, для чего на продолжении радиусов круга  $0-90-180-270$  отложены величины, пропорциональные количеству отраженного света.

Для нахождения количества отраженного света при некотором азимуте  $\alpha$  проводим из центра линию  $cd$ , и отношение  $cd$  к  $ob$  даст отношение количества отраженного света к количеству падающего. Причина описанных явлений лежит в особенностях отражения прямолинейно поляризованного света; в этих особенностях кроется и причина П. света при отражении; обо всем этом см. Свет. Закон Малюса справедлив, однако, не только в данном случае, но представляет общий закон, выражающий зависимость количества света, прошедшего через систему из двух поляризующих приборов, от азимута одной плоскости П. относительно другой. Если стеклянная пластинка наклонена к лучу под углом, большим или меньшим  $55^\circ$ , то не весь падающий на нее естественный свет превращается в прямолинейно поляризованный, а лишь часть его, и отраженный свет есть свет, *частью прямолинейно поляризованный*; лишь та часть его, которая прямолинейно поляризована, претерпевает вышеописанные изменения при вращении верхнего зеркала, а следовательно, полного исчезновения отраженного от зеркала света ни при каком азимуте не происходит. Тот угол падения луча на пластинку, при котором весь отраженный свет прямолинейно поляризован, называется *углом полной П.* и зависит от вещества пластинки. Для стекла он  $55^\circ$ , для воды  $53^\circ$ , для алмаза  $68^\circ$ . Брюстер (1815) показал, что угол полной П. есть тот угол  $i$  (фиг. 8), при котором тангенс

угла падения луча  $ab$  равен коэффициенту преломления данного вещества, т. е.  $\operatorname{tg} i = n$ ; при таком угле падения угол между отраженным лучом  $bc$  и преломленным лучом  $bd$  есть прямой.

Изложенные законы и явления относятся лишь к телам неметаллическим; при отражении света от металлов получается вообще свет эллиптически поляризованный, и наблюдаемые явления значительно сложнее (см. ниже). Таким образом, зеркало, на которое падают естественные лучи под углом полной П., может служить удобным прибором для получения прямолинейно поляризованного света, или *поляризатором*; такое же зеркало, на которое под тем же углом падают прямолинейно поляризованные лучи, может при вращении его служить средством для распознавания прямолинейно поляризованного света — или *анализатором*. Пользуясь стеклянными зеркалами, Норренбер построил весьма распространенный поляризационный прибор (фиг. 9), состоящий из двух стеклянных зеркал  $AB$  и  $S$ , прикрепленных так к вертикальным стойкам, что зеркала могут вращаться вокруг горизонтальной оси.

Кроме того, верхнее зеркало вращается еще вместе с его стойками вокруг вертикальной оси, причем угол поворота может быть отсчитан по верхнему деленному кругу. В нижнюю основную пластину прибора вделано горизонтальное обыкновенное зеркало  $s$ . Зеркало  $AB$ , представляющее собой

прозрачную стеклянную пластинку, устанавливается так, что плоскость его составляет угол в  $35^\circ$  с вертикальной линией. Какой-либо луч  $a$ , идущий от небосвода, отражается по пути  $bc$  вертикально вниз, при этом поляризуется прямолинейно, попадает на зеркало  $s$  перпендикулярно к последнему, отражается снова вверх по пути  $cbS$  и попадает на анализатор  $S$ , состоящий из непрозрачного зеркала из черного стекла, наклоненного тоже под углом в  $35^\circ$  к вертикали. Между зеркалами на тех же стойках прикреплен небольшой поворотный стеклянный столик, на который кладут те предметы, которые желают исследовать в поляризованном свете. 2) *Преломление света*. При падении естественного света на стеклянную пластинку под углом полной П. часть света преломляется, при чем оказывается тоже прямолинейно поляризованной, но плоскость колебаний и плоскость П. перпендикулярны к таковым же плоскостям у отраженного луча. Однако преломленный и прошедший через пластинку свет не вполне, а лишь частью поляризован, и потому, чтобы сделать по возможности большую часть прошедшего света поляризованной, заставляют лучи проходить через ряд тонких параллельных стеклянных пластинок, наклоненных к лучу под углом полной П. Такой прибор, могущий служить и поляризатором, и анализатором, называют *стеклянной стопкой* (*pile de glace*); он изображен на фиг. 10.

Стеклянная стопка в соединении с зеркалом может служить поляризационным прибором (можно, напр., в приборе Норренберга заменить верхнее зеркало стеклянной стопкой, но ввиду перпендикулярности плоскости П. отраженного и преломленного света затемнение в этом случае произойдет тогда, когда зеркало и стопка будут параллельны друг другу). Количество прошедшего через стопку света тоже следует общему закону Малюса. 3) *Двойное лучепреломление* (см.). При прохождении света через двоякопреломляющую среду естественный луч разбивается, вообще говоря, на два луча, прямолинейно поляризованных, плоскости П. которых друг другу перпендикулярны. Таким образом, пропускание света через двупреломляющую среду дает простейший способ получить прямолинейно поляризованный свет; для этого достаточно уединить один из двух поляризованных лучей, образовавшихся от разложения луча естественного света в двупреломляющей среде; последнего можно достигнуть следующими способами: а) Один из лучей задерживают посредством непрозрачной диафрагмы. На фиг. 11 изображен в оправе кристалл двупреломляющего известкового (исландского) шпата.

Падающий на кристалл пучок естественных лучей  $a$  разбивается на два поляризованных пучка  $o$  и  $e$ , из которых  $e$  задерживается металлической оправой, а  $o$  свободно проходит через отверстие в ней. Неудобство такого поляризатора состоит в том, что для достаточного разделения пучков  $o$  и  $e$  требуется довольно длинный кристалл и что получающийся прямолинейно поляризованный пучок  $o$  может быть лишь весьма тонким. Комбинированием призм из исландского шпата с призмами из стекла можно, правда, увеличить угол расхождения между пучками, но все же эти *поляризующие призмы* теперь совершенно заменены б) призмами, в которых одному из пучков дают другое направление, пользуясь полным внутренним отражением (см. Диоптрика). Первый и наиболее известный из этих приборов есть призма Николя (1828), или «Николь», изображенная на фиг. 12.

Длинный ромбоэдр исландского шпата отшлифовывается по основаниям так, чтобы последние образовали с ребрами угол в  $68^\circ$  (в естественном состоянии этот угол равен  $71^\circ$ ); его распиливают затем перпендикулярно к основанию; получившиеся две части снова склеиваются с помощью канадского бальзама отполированными предварительно сторонами  $HN$ . Естественный луч  $ab$  по входе в призму разбивается на два — необыкновенный  $bc'$ , свободно проходящий через призму, и обыкновенный  $bc$ , претерпевающий от поверхности канадского бальзама (коэфф. преломления 1,54) полное внутреннее отражение и отражающийся поэтому по направлению  $cd$ ; плоскость колебания вышедшего из призмы прямолинейно поляризованного луча  $d'e$  расположена в плоскости чертежа и указана штриховкой луча. Длинные, достаточно чистые кристаллы исландского шпата весьма редки и дороги, и посему часто делались попытки, исходя из тех же принципов, построить поляризующие призмы меньших размеров; таковы призмы Фуко (1857), Гартнака (1866, лучшая из существующих), Глана (1881). Призма Фуко, отличающаяся своей короткостью (фиг. 13), содержит между двумя составляющими ее частями слой воздуха, от которого происходит отражение обыкновенного луча; ход луча виден на чертеже.

Липпих (1882) и Ландольт (1879) показали, что не все лучи пучка параллельных лучей, прошедших через поляризующую призму, имеют одну и ту же плоскость колебаний, но что последняя слегка различна для различных лучей, т. е. что  $P$  получается неравномерная; наиболее равномерна  $P$  в призме Глана, видоизмененной С. Томпсоном. Поляризующие призмы удобны в качестве поляризатора и анализатора как по совершенству, с которым поляризуют лучи, так и потому, что не отклоняют проходящие через них лучи. К сожалению, ныне по причине редкости чистых кусков шпата поляризующие призмы значительных размеров весьма дороги. с) Один из лучей поглощается кристаллом. Турмалин (см.) и некоторые другие двупреломляющие кристаллы поглощают один из двух образующихся в них при двупреломлении прямолинейно поляризованных лучей, другой же пропускают свободно (см. Полихроизм). Турмалин (ф. 14), отшлифованный параллельно своей кристаллографической оси в пластинку  $abcd$  толщиной около 1 мм, почти совершенно поглощает обыкновенный луч и свободно пропускает необыкновенный, плоскость колебания которого  $hi$  параллельна кристаллографической оси; такая турмалиновая пластинка может служить простейшим поляризатором и анализатором.

Две такие пластинки (ф. 15 и 16)  $abcd$  и  $efgh$ , сложенные так, что оси их (указаны штриховкой на чертеже) параллельны, а следов., плоскости колебания и  $P$ . прошедших через них лучей совпадают, свободно пропускают через себя лучи; если же пластинки скрещены (фиг. 16), то есть азимут одной пластинки относительно другой  $90^\circ$  или  $270^\circ$ , то свет через такую комбинацию пройти не может.

Две такие пластинки, вставленные во вращающиеся оправы, зажатые в кольцах проволочных щипцов (фиг. 17), дают простейший прибор для исследования предметов в поляризованном свете — турмалиновые щипцы; исследуемый предмет (кристалл, см. ниже) зажимается между двумя

пластинками, из которых одна, *A*, поляризует проходящий через предмет свет, другая, *B*, служит анализатором. Неудобство турмалиновой пластинки в качестве поляризующего прибора лежит в том, что турмалины, обладающие указанным свойством, всегда густо окрашены, обыкновенно в зеленый цвет.

III. *Эллиптически поляризованный свет* происходит обыкновенно от сложения колебаний двух лучей, прямолинейно поляризованных, имеющих перпендикулярные друг другу плоскости колебаний и из которых один на некоторую часть длины волны отстает от другого, или, как говорят, между которыми существует некоторая *разность хода* (см. Интерференция). Если оба луча имеют одну и ту же амплитуду колебания (см. Колебательное движение) и плоскости колебаний их расположены, положим, вертикально и горизонтально, то 1) при отсутствии между ними разности хода они, слагаясь, дают один прямолинейно поляризованный луч, плоскость колебания которого расположена под углом в  $45^\circ$  к горизонту (см. фиг. 18); 2) при разности хода  $\varphi$ , равной  $1/8$  длины волны  $\lambda$  ( $\varphi = 1/8\lambda$ ) получается эллиптически поляризованный луч с направлением движения частицы, указанным стрелкой; 3) при  $\varphi = 1/4\lambda$  получается луч, поляризованный по кругу; 4) при  $\varphi = 3/8\lambda$  получается опять эллиптически поляризованный луч, но эллипс иначе наклонен; 5) при  $\varphi = 1/2\lambda$  получается опять прямолинейно поляризованный луч с плоскостью колебания, перпендикулярной к плоскости колебания в случае 1.

При других разностях хода получаются колебания, указанные на фиг. 18. Если слагающие свои колебания лучи имеют разные амплитуды, то, опять-таки, вообще получается в результате луч прямолинейно поляризованный, круговой или эллиптический, в зависимости от отношения амплитуд и от разности хода. Если разность хода раз навсегда сделать равной  $\lambda/4$ , то при равных амплитудах получается (как выше) круговой луч, при амплитуде одного луча большей, чем у другого, — луч эллиптически поляризованный; когда амплитуда одного из лучей

равна нулю, то остается лишь другой луч, прямолинейно поляризованный. Для искусственного получения эллиптически поляризованного луча из вышесказанного прямо следуют два способа: 1) Прямолинейно поляризованный луч пропускаем через пластинку двупреломляющего вещества, расположенную так, что луч выходит из нее, разбившись на два, одинаковой амплитуды, но поляризованных в перпендикулярных плоскостях (см. [Двойное лучепреломление](#)); оба луча распространяются в одном и том же направлении. Так как скорость распространения этих двух лучей в двупреломляющей среде неодинакова, то лучи выходят из пластинки с некоторой разностью хода, зависящей от толщины пластинки и скоростей лучей, и, слагаясь, дадут, следовательно, по вышесказанному, эллиптически поляризованный луч. Если пластинка такова, что разность равна  $\frac{1}{4}$  длины волны, то выходящий из нее свет будет поляризован по кругу; такие пластинки, называемые обыкновенно *пластинкою в четверть волны* ( $\frac{1}{4}\lambda$ )<sup>[2]</sup>, готовятся из листочков слюды толщиной в 0,032 мм. Для получения произвольной разности хода пользуются сложной пластинкой — *компенсатором Бабинета* (Vabinet), состоящим из двух кварцевых клинообразных пластинок (фиг. 19), наложенных друг на друга так, что они образуют вместе пластинку с параллельными сторонами.

Один из клиньев отшлифован ребром своим параллельно оптической оси кварца, другой перпендикулярно к ней (ось на фиг. 19 указана штриховкой и пунктиром), так что пройдя первый клин, лучи приобретают одну разность хода, пройдя другой — другую, обратного направления. Если пластинки в нормальном положении (фиг. 19), то луч, проходящий через центр  $O$ , проникает через одинаковую толщину обеих пластин и поэтому два получающиеся луча не имеют разности хода. Если же, оставив верхнюю пластинку неподвижной, сдвинем нижнюю направо, то толщина нижней пластинки под  $O$  уменьшится и лучи выйдут с некоторой разностью хода, величина которой будет зависеть от разности толщин пластинок в  $O$ . 2) Прямолинейно поляризованный луч пропускаем через пластинку в  $\frac{1}{4}\lambda$ ; вращая плоскость  $P$  падающего луча относительно неподвижной пластинки, можно (см. Свет) менять отношение амплитуд колебаний двух вышедших из пластинки лучей, а следовательно, и получить (по вышесказанному) при сложении колебаний (см. выше) по желанию эллиптический, круговой или прямолинейно поляризованный луч. Эллиптически поляризованный свет можно получить также 3) при полном внутреннем отражении прямолинейно поляризованного света внутри стекла или другой прозрачной среды.

Если на призму (фиг. 20)  $NR$  упадет прямолинейно поляризованный луч  $a$ , так что плоскость  $\Pi$  его составляет некоторый угол с плоскостью отражения, то после отражения в  $b$  от поверхности  $NR$  он выйдет в  $bc$  эллиптически поляризованным. Это объясняют, согласно теории Френеля, тем, что прямолинейно поляризованный луч разбивается на два таких же, но поляризованных один в плоскости падения, другой перпендикулярно к ней, причем эти два луча получают при отражении разность хода и неодинаковое изменение амплитуды. Френель нашел, что при отражении внутри стекла под углом около  $55^\circ$  разность хода этих двух лучей равна  $\frac{1}{8}\lambda$ , так что после двух таких отражений она равна  $\frac{1}{4}\lambda$ , и, следовательно, при одинаковой амплитуде обоих лучей свет выйдет поляризованным по кругу. Построенный для этой цели прибор — *параллелепипед Френеля* — изображен на фиг. 21; прямолинейно поляризованный луч входит в  $bc$  в стеклянный столбик, отражается два раза под  $55^\circ$  в  $ri$  и выходит из  $ad$  поляризованным по кругу. 4) При отражении прямолинейно поляризованного света от металлов. Явления металлического отражения (см. Свет) вообще весьма сложны и сравнительно мало выяснены: объяснение превращения прямолинейно поляризованного света в эллиптический в общем то же, что и при полном внутреннем отражении. В некоторых случаях достаточно однократного отражения, чтобы получить луч, поляризованный по кругу. Весьма вероятно, что и при отражении от всех других веществ (и стекла) получается вообще эллиптически поляризованный луч, но для стекла, например, этот эллипс настолько растянут, что не может быть различен от прямой; значительное влияние на отражение имеет и характер поверхностного слоя вещества; этот последний вопрос еще мало выяснен.

IV. *Источники поляризованного света.* Все самосветящиеся источники света излучают вообще <sup>[3]</sup> свет естественный,  $\Pi$  же появляется лишь при отражении света или преломлении его. Так, напр., свет, излучаемый небесным сводом, отчасти прямолинейно поляризован (Араго, 1809), причем плоскость  $\Pi$  проходит приблизительно через рассматриваемую точку небосвода, солнце и глаз наблюдателя. Степень  $\Pi$  различных точек небосвода различна, существует (на угловом расстоянии  $90^\circ$  от солнца) точка наибольшей  $\Pi$  и несколько «нейтральных точек», излучающих естественный свет. Исследованием еще не вполне ясного вопроса о  $\Pi$  небосвода занимались Араго (1809), Бабине (1840), Беккерель (1880), Пильчиков (1892) и др. Лучи от солнца и других источников света, отраженные от земных предметов, от воды и т. д., тоже поляризованы в более или менее значительной степени. В 1896 г. Зеeman открыл замечательное явление, названное его именем; оно состоит в том, что самосветящийся источник света (пламя, Гейсслерова трубка, искра), помещенный в сильном магнитном поле, излучает комплекс лучей, из которых можно выделить лучи прямолинейно поляризованные и поляризованные по кругу. Это сложное и не вполне еще ясное явление (см. Свет) дает первый известный нам естественный источник поляризованного света.

V. *Распознавание поляризованного света.* Глаз человека не обладает способностью непосредственно отличать поляризованный свет от естественного. Лишь при значительном внимании можно заметить, что прямол. поляризованный свет дает на сетчатке впечатление особого, весьма слабо заметного рисунка, слегка различного у различных людей и лучше всего видного, если смотреть через николю на освещенную белую бумагу; автору он

представляется в виде размытой желтой восьмерки, окруженной голубым сиянием. Этот рисунок, называемый по имени впервые заметившего его ученого «пучком Гайдингера», происходит, как выяснили Жамен и Гельмгольц, от особенностей структуры оптической части глаза. Чтобы исследовать характер  $P$  исследуемого света, пользуются обыкновенно николем в качестве анализатора и пластинкой в четверть волны. Различные могущие представиться при этом случаи следующие: испытываемый свет 1) естественный, 2) прямолинейно поляризован, 3) отчасти прямолинейно поляризован, 4) эллиптически поляризован, 5) отчасти эллиптически поляризован, 6) поляризован по кругу и 7) отчасти поляризован по кругу. Для распознавания их может служить приводимая ниже таблица, составленная по Маху.

*Аналитическая таблица для распознавания рода  $P$  световых лучей (по Маху).*

A) Анализатор при вращении не обнаруживает изменений силы света  $J$ .

I. На пути лучей поставлена пластинка  $\lambda/4$ ; при вращении анализатора  $J$  не меняется — *лучи естественные.*

II. При тех же условиях  $J$  меняется от  $J_1$  до  $J_2$ :

1)  $J_1 = 0$ . *Лучи поляризованы по кругу.*

2)  $J_1$  больше нуля. *Лучи отчасти поляризованы по кругу.*

B) Анализатор при вращении дает изменение силы света от  $J_1$  до  $J_2$ .

I.  $J_1 = 0$ . *Лучи прямолинейно поляризованы.*

II.  $J_1$  больше 0.

1) Ставим на пути пластинку  $\lambda/4$ ; при некотором ее положении  $J_1 = 0$ . *Лучи эллиптически поляризованы.*

2) При всех положениях  $\lambda/4$ ; сила света  $J_1$  больше 0.

a) При этом  $J_1$  и  $J_2$  получаются при тех же положениях анализатора, что и без пластинки  $\lambda/4$ . *Лучи отчасти прямолинейно поляризованы.*

b)  $J_1$  и  $J_2$  получаются при других положениях анализатора. *Лучи отчасти эллиптически поляризованы.*

VI. *Отражение и преломление поляризованного света* — см. Свет.

VII. *Вращение плоскости  $P$* . (см., а также Сахариметры, Свет).

VIII. *Интерференция (см.) поляризованного света* была исследована Френелем и Араго (1819), которые нашли, что она подчиняется следующим законам: 1) лучи, поляризованные в параллельных плоскостях, интерферируют, как лучи естественные. 2) Лучи, поляризованные в перпендикулярных плоскостях, не интерферируют; они складываются (см. выше) в зависимости от амплитуды и разности хода в один луч с колебанием эллиптическим, круговым или прямолинейным. 3) Лучи, поляризованные в перпендикулярных плоскостях и происшедшие от разложения одного естественного луча, не интерферируют, если даже повернуть их плоскости  $P$ . так, чтобы они совпали. 4) Лучи, поляризованные в перпендикулярных плоскостях и происшедшие

от разложения одного прямолинейно поляризованного луча, интерферируют, если повернуть их плоскости П. так, чтобы они совпали. Если естественный луч проходит через пластинку двупреломляющего вещества, то он разбивается на два, прямолинейно поляризованные в перпендикулярных плоскостях; они согласно закону 3 не интерферируют, если мы даже анализатором (или другим каким-либо способом) приведем их к одной плоскости П. Чтобы наблюдать в этих условиях интерференцию поляризованных лучей нужно, следовательно (зак. 4), пропустить через пластинку прямолинейно поляризованный свет и наблюдать его анализатором; для этой цели может служить прибор Норренберга (фиг. 9; нижнее зеркало поляризует лучи, на среднюю площадку кладется исследуемая пластинка, верхнее зеркало служит анализатором) или прибор, состоящий в главных чертах из двух николей, между которыми помещается пластинка или турмалиновые щипцы (фиг. 17). Наблюдаемые явления существенно зависят от того, проходит ли через двупреломляющую пластинку параллельный пучок света или пучок сходящийся или расходящийся. А) В случае пучка *параллельных* лучей и света однородного (см. Свет) все лучи, попадающие на пластинку, проходя в одинаковом направлении через нее, разбиваются одинаково на пары лучей, выходящих с одинаковой для всех пар разностью хода. Эти пары лучей не могут пока интерферировать, так как плоскости П. их перпендикулярны друг другу. Если же мы пропустим их дальше через анализатор, то в последнем каждый луч из пары приведет к двум, поляризованным в двух перпендикулярных плоскостях, положение которых зависит от положения плоскости П. анализатора, и интерферировать будут те слагающие первого и второго луча из пары лучей, плоскости П. которых совпадают. Если плоскости П. поляризатора и анализатора скрещены, то при этом интерферирующие лучи совершенно уничтожают друг друга и пластинка будет казаться темной, если разность хода в паре лучей будет равна целому числу длин волн; сложатся же они и пластинка будет казаться светлой, если разность хода равна будет нечетному числу полуволн. Обратное наблюдается в том случае, когда плоскости П. поляризатора и анализатора параллельны. Если пластинка неоднородна или неодинаковой в различных ее точках толщины, то между скрещенными плоскостями П. все те места пластинки, которые дают разность хода, равную целому числу волн, будут казаться черными и пластинка покажется испещренной черными полосами различной формы. Такое изображение дают, например, стеклянные пластинки, в которых нагреванием или сжатием и растяжением вызвана двупреломляемость, неравномерно распределенная по всей поверхности пластинок<sup>[4]</sup>. Значительно сложнее, но и интереснее явления, если свет не однородный, но *сложный белый*. Ввиду того, что длины волн различных лучей, составляющих спектр (см.) белого света, различны, то полного затемнения пластинки между скрещенными плоскостями П. быть не может; если пластинка такой

толщины, что, напр., лучи желтого света, интерферируя, совершенно уничтожатся, то из проходящего через пластинку сложного белого света различные другие составляющие его части пройдут не с одинаковой интенсивностью через анализатор; напр. фиолетовый с одной стороны и крайний красный луч с другой стороны пройдут вполне, оранжевый и зелено-синий пройдут лишь отчасти, желтый совершенно не пройдет — в результате пластинка покажется *окрашенной*, в указанном случае, напр., в пурпуровый цвет. Между параллельными плоскостями П. не пройдут через анализатор те лучи, которые между скрещенными плоскостями П. проходили, и наоборот; полученное при этом окрашивание называется *дополнительным* первому, так как оба, вместе сложенные, дали бы снова белый цвет (см. Гармония красок, табл. I); в описанном нами случае будет наблюдаться бледно-зеленая окраска пластинки, дополнительная пурпуровой. Эти цветовые явления и дали повод неправильно назвать совокупность их явлением *хроматической* П. Эти цвета пластинок в параллельном поляризованном свете, напоминающие цвета тонких пластинок (см. Интерференция), тем ярче, чем тоньше пластинки; напр. пластинка кварца толщиной в 0,5 мм уже не дает заметного окрашивания. В нижеприводимой таблице даны цвета тонких гипсовых пластинок в зависимости от их толщины.

Цвета гипсовых пластинок в параллельном поляризованном свете.

Толщина	Плоскости П.	
	Скрещены	Параллельны
0,05	Красный	Светл.-зеленов.-синий
0,07	Голубой	Золотисто-желтый
0,09	Желтый	Синий
0,14	Зеленый	Пурпуровый
0,17	Серов.-синий	Матово-желтый
0,20	Серо-зеленый	Серо-красный
0,25	Сине-зеленый	Желто-красный
0,28	Желто-красный	Сине-зеленый

ХРОМАТИЧЕСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ. 1) Исландский шпат; черный крест. 2) Исландский шпат; белый крест. 3) Две пластинки, параллельные оси; гиперболы. 4) Селитра; черный крест. 5) Селитра; гиперболы. 6) Кольца в сахаре. 7) Кольца в кварце. 8) Квадратные кольца в кварце. 9) Спирали в кварце. 10) Скрещенные арагониты; натровый свет. 11) Спирали Эри в кварце. 12) Скрещенные арагониты; натровый свет.

В случае неоднородности или неодинаковой толщины пластинки в белом свете по вышеизложенным причинам появятся не черные полосы (см. выше), но цветные. Б) Если проходящий через двупреломляющую пластинку однородный свет не параллельный, но *сходящийся* (или *расходящийся*), то различные лучи проходят через пластинку по не равным друг другу путям, а следовательно, разности хода для различных пар лучей будут

вообще неодинаковы. Для наблюдения явлений интерференции поляризованного света в сходящихся лучах пользуются вообще теми же приборами, что и в случае параллельных лучей, но только посредством системы короткофокусных чечевиц заставляют свет за поляризатором сойтись в фокусе и снова разойтись из него; другая система чечевиц снова собирает этот расходящийся пучок в параллельный и направляет его в анализатор. Исследуемая пластинка помещается так между двумя системами чечевиц, чтобы точка схождения лучей помещалась внутри ее. Если пластинка плоскопараллельная, то на ней черными линиями (между скрещенными плоскостями П.) вырисуеться совокупность тех точек, которые дают пары лучей с разностью хода, равной целому числу волн, и светлыми те, которые дают разность хода, равную нечетному числу полуволн. Если пластинка одноосная (см. Двойное лучепреломление) и вырезана так, что плоские стороны ее перпендикулярны к оптической оси, то эти линии вообще будут образовывать ряд концентрических кругов — колец вокруг луча, проходящего перпендикулярно к пластинке; кроме того, этот ряд концентрических кругов будет перерезан черным крестом, происходящим вследствие того, что перпендикулярные друг к другу плоскости П. пар лучей не везде образуют одинаковые азимуты с плоскостью П. анализатора. Между параллельными плоскостями П. получится опять ряд черных колец (на тех местах, где в первом случае были кольца светлые), перерезанных светлым крестом. В двуосной пластинке, вырезанной перпендикулярно к линии, делящей угол между осями пополам, появится, как показывает анализ явления и подтверждает опыт, ряд черных линий — колец в виде лемнискат (см.), перерезанных двумя темными полосами. Чем тоньше пластинка, тем шире кольца и тем дальше они друг от друга отстоят; в очень толстых пластинках кольца могут совершенно исчезнуть или в случае двуосного кристалла превратиться в овальные кольца (крайние линии лемнискат; см. Кривые, табл. I, фиг. 14). Если пластинки вырезаны из кристалла в каком-либо другом направлении относительно оси или осей, то и фигуры получаются в общем другие; Бертэн (1861) дал удобный способ определения формы кривых в пластинках, вырезанных в произвольном направлении относительно осей, рассматривая поверхности равной разности хода в *кристалле* — *изохроматические поверхности*. В сложном белом свете по причинам, изложенным выше, явления, сохраняя в общем тот же характер, становятся сложнее; получающаяся сеть кривых является окрашенной в блестящие цвета; явления эти одни из наиболее красивых, известных в физике. Особенной сложностью отличаются кривые в двуосных кристаллах, так как в последних весьма часто оси для лучей различных длин волн не совпадают и угол между осями меняется с температурой, но неодинаково для различных лучей. В кристаллах, обладающих, кроме того, еще вращением плоскости П. (см.), явления еще усложняются. Сложные фигуры получаются также при наложении друг на друга различных

различно вырезанных пластин. Например две пластинки кварца, вырезанные под углом в  $45^\circ$  к оси и сложенные так, что оси их скрещиваются, дают в середине поля зрения черную полосу, а с двух сторон ее параллельные ей цветные полосы. Эта *двойная пластинка Савара* (1840) в соединении с анализатором может служить чувствительным указателем П. света — *полярископом*, так как при прохождении через нее света, содержащего даже ничтожное количество прямолинейно поляризованных лучей, дает упомянутые полосы; другое применение ее см. Сахариметрия. Ряд примеров явления хроматической П. приведен на приложенной к статье таблице; изображения, однако, далеко не передают того блеска и перелива цветов, какой наблюдается в действительности.

Фиг. 1 и 2 дают явления в белом свете в одноосном кристалле, вырезанном перпендикулярно к его оптической оси. Если такую пластинку вырезать параллельно оси, то она дает сеть гипербол; две такие пластинки, сложенные накрест, дадут фиг. 3. Фиг. 4 и 5 дают типичный рисунок для двuosных кристаллов, шлифованных перпенд. к линии, делящей угол между осями пополам. В кварце, обладающем, кроме двупреломления, еще вращением плоскости П., от совокупного действия этих двух причин образуются более сложные фигуры; фиг. 7 дает кварц, вырезанный перпендикулярно к оси (разница с фиг. 1 особенно заметна во внутреннем кольце); фиг. 8, 9, 11 принадлежат также кварцу и комбинациям вместе сложенных кварцевых пластинок. Фиг. 10 и 12 принадлежат скрещенным пластинкам аррагонита, причем освещение однородное, желтым натровым светом. Фиг. 6 принадлежит двuosному кристаллу, вырезанному перпендикулярно одной из его осей.

Явления хроматической П. в параллельных и в особенности в сходящихся лучах представляют наиболее удобное средство минералога и кристаллографа для распознавания оптических свойств кристаллов, для определения одно- или двuosности их, для определения угла между осями и т. д. Для наблюдения с этой целью весьма малых кристаллов строятся *поляризационные микроскопы*.

*Литература.* Общие вопросы о П. света см. Свет. О поляризующих призмах см. Д. Бобылев, «Поляризующие призмы, устроенные наивыгоднейшим образом» (СПб., 1870); К. Feussner, «Ueber die Prismen zur P. des Lichts» («Zeitschr. für Instrumenten-Kunde», 1884, 41); Grosse, «Die Prismen zur P. des Lichtes» (1888); Lippich, «Ueber polaristrobometrische Methoden» («Wiener Akad. Berichte», т. 85, 1892). П. солнечного света см. Busch, «Atmosphäerische Polarisation» («Berichte d. Gymnas. zu Arnberg», 1890). Приборы для оптического исследования кристаллов в поляризованном свете см. Groth, «Physikalische Krystallographie» (русск. перевод). См. также Оптика.

*А. Г.*

## Примечания[править]

---

1. [Перейти↑](#) Плоскость П. представляет, в сущности, самостоятельное понятие, не связанное генетически с понятием о плоскости колебания. Теория Френеля и полагает, что плоскость П. перпендикулярна к плоскости колебания, теория же Неймана полагает, что они совпадают. Первая теория более общепринята; подробнее см. Свет
2. [Перейти↑](#) Буквою  $\lambda$  обозначают обыкновенно длину волны.
3. [Перейти↑](#) Кажущееся исключение представляет раскаленный турмалин, который излучает частью прямолинейно поляризованный свет, это объясняется, вероятно, тем, что лучи, насылаемые внутренними слоями турмалина, поляризуются, проходя через внешние слои турмалина.
4. [Перейти↑](#) Этим пользуются для распознавания неравномерной закалки стекла (см. Оптические стекла).

[https://ru.wikisource.org/wiki/ЭСБЕ/Поляризация\\_света](https://ru.wikisource.org/wiki/ЭСБЕ/Поляризация_света)