

19.9. Поляризация поперечных волн

Поляризация механических волн. Ранее были рассмотрены явления интерференции и дифракции света, подтверждающие его волновую природу. С волновой точки зрения объясняется и явление поляризации, которое можно наблюдать только у поперечных волн. Сущность этого явления проще всего рассмотреть на поперечных механических волнах.

В продольной волне (например, звуковой) направление колебаний полностью определяется направлением распространения волны. В поперечной волне колебания совершаются перпендикулярно направлению распространения. Заданное направление распространения волны еще не определяет направления колебаний, так как направлений, перпендикулярных данному, бесчисленное множество (рис. 19.12).

Рассмотрим опыт. Пусть по шнуру в направлении SO распространяется поперечная волна, на пути которой поставлена преграда с щелью (рис. 19.13, *а*). Очевидно, что волна через щель пройдет только в том случае, когда направление щели AB совпадает с направлением колебаний, т.е. если щель расположена вертикально. Если щель повернуть на 90° , т.е. расположить ее горизонтально, то колебания через щель не пройдут (рис. 19.13, *б*). Это свидетельствует о том, что в шнуре происходили поперечные колебания в заданном направлении. Продольные колебания проходят через щель при любом угле поворота.

Если в поперечной волне колебания совершаются только в одном каком-либо определенном направлении, то волну называют **плоскополяризованной**, или **поляризованной**.

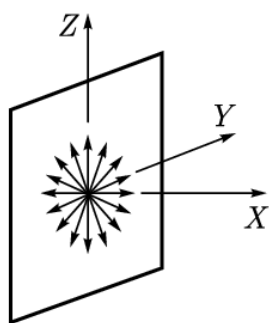


Рис. 19.12

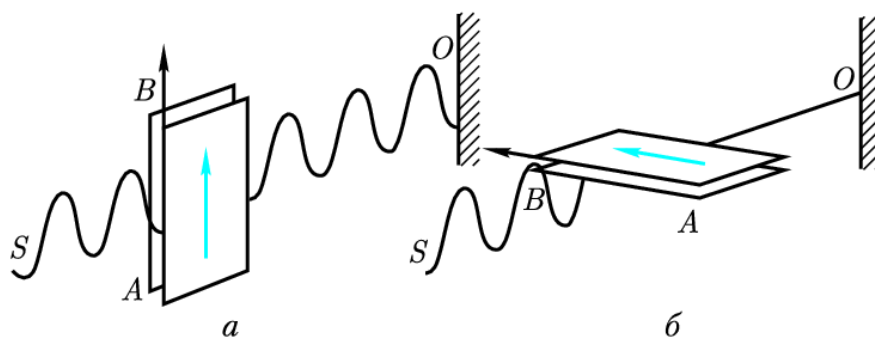


Рис. 19.13

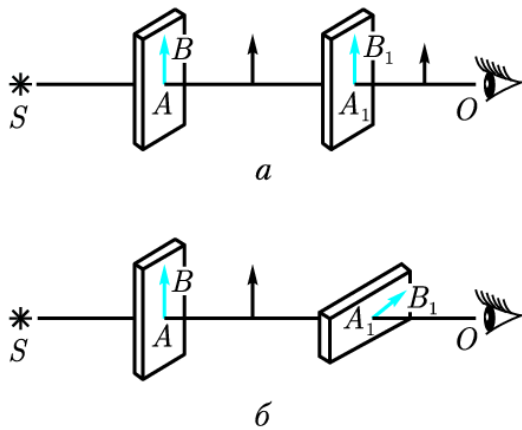


Рис. 19.14

Поляризация световых волн. Рассмотренный опыт говорит о том, что щель можно использовать для анализа поперечных механических колебаний. Чтобы установить, является ли световая волна поперечной, надо иметь такое устройство, которое могло бы выполнять роль указанной выше щели, т. е. поляризовать неполяризованную волну и анализировать состояние поляризованной волны (определять направление ее колебаний). Роль такой щели могут выполнять некоторые кристаллы, например турмалин. Вырезанные из него определенным образом плоскопараллельные пластинки, как следует из опыта, способны пропускать световые колебания только одного направления. Следовательно, турмалиновые пластинки могут быть использованы для выяснения характера (поперечности) световых волн.

Поясним, почему турмалин и некоторые другие кристаллы могут поляризовать свет. Как известно,

кристаллы — тела анизотропные, их оптические свойства различны по различным направлениям.

У турмалина анизотропия проявляется в том, что он сильно поглощает излучение с колебаниями одного определенного направления, а излучения с колебаниями в перпендикулярном ему направлении почти не поглощает. Это свойство кристаллов называют *дихроизмом*.

Таким образом, проанализировать состояние световых колебаний в световой волне и убедиться в их поперечности можно с помощью двух турмалиновых пластинок. На рис. 19.14, *а* пластинки расположены таким образом, что направления пропускаемых ими световых колебаний параллельны друг другу, при этом вторая пластинка пропускает без изменения световую волну, прошедшую через первую. При повороте второй турмалиновой пластинки на 90° (19.14, *б*) она полностью гасит колебания, прошедшие через первую пластинку. Первая пластинка, превращающая естественный свет в плоскополяризованный, называется *поляризатором*, вторая, определяющая направление колебаний (гасящая поляризованную волну), — *анализатором*. Из опыта видно, что поляризатор и анализатор являются взаимозаменяемыми приборами.

Явление поляризации доказывает поперечный характер световых волн.

Поперечность световых волн подтверждается и электромагнитной теорией света.

19.10. Поляризация света

Естественный и поляризованный свет. Как было отмечено ранее, свет представляет собой электромагнитные колебания, распространяющиеся в виде попе-

речных электромагнитных волн длиной $(3,8 - 7,6) \cdot 10^{-7}$ м. Электромагнитная волна характеризуется векторами напряженности электрического поля \mathbf{E} и индукции магнитного поля \mathbf{B} . Векторы \mathbf{E} и \mathbf{B} расположены во взаимно-перпендикулярных плоскостях и колеблются в одинаковых фазах (на рис. 19.15 волна распространяется в направлении оси X). Колебания этих векторов в изотропной среде происходят перпендикулярно направлению распространения колебаний — к лучу.

Во многих случаях (при физиологических и фотохимических воздействиях, люминесценции, фотоэффекте и т. д.) действие световых волн на вещество в основном определяется вектором напряженности электрического поля \mathbf{E} , так как большинство явлений, наблюдаемых в веществе под действием света, связано с воздействием на электроны.

Поэтому рассматривая далее колебания светового луча, будем понимать под ним колебания вектора \mathbf{E} .

Электромагнитные волны, излучаемые светящимся телом, складываются из отдельных волн, которые испускаются его атомами (элементарными вибраторами). Вследствие того что атомы непрерывно меняют свою пространственную ориентацию, направление колебаний вектора \mathbf{E} результирующей световой волны непрерывно меняется.

Если в световой волне колебания вектора \mathbf{E} происходят по всевозможным направлениям в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, то свет называют *естественным* (рис. 19.16, *a*).

Световые колебания, как и любые колебания, происходящие в одной плоскости, можно разложить по правилу параллелограмма на два колебания, происходящие в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях. Следовательно, естественный луч света мы можем представить как луч, в котором колебания происходят в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, например в плоскости чертежа, которую считаем совпадающей с плоскостью падения (колебания условно отмечаются черточками), и в плоскости, перпендикулярной плоскости падения (колебания отмечаются точками). На рис. 19.16, *б* луч естественного света условно изображен как прямая, на которой расположено одинаковое число черточек и точек.

Если колебания вектора \mathbf{E} происходят только в одном направлении, перпендикулярном лучу, то свет называют *плоскополяризованным*. Прямая с черточками (рис. 19.16, *в*) или точками (рис. 19.16, *г*) изображает луч плоскополяризованного света. Частично поляризованный луч света изображен на рис. 19.16, *д, е*.

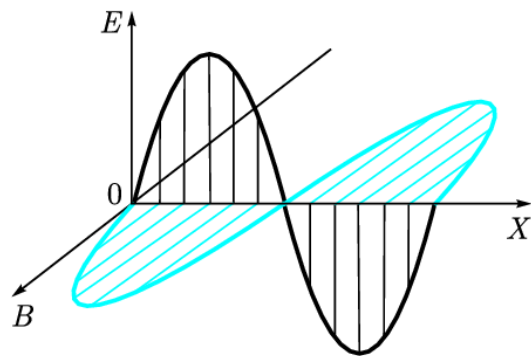


Рис. 19.15

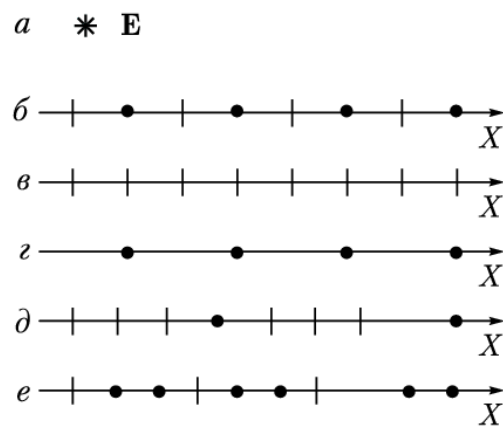


Рис. 19.16

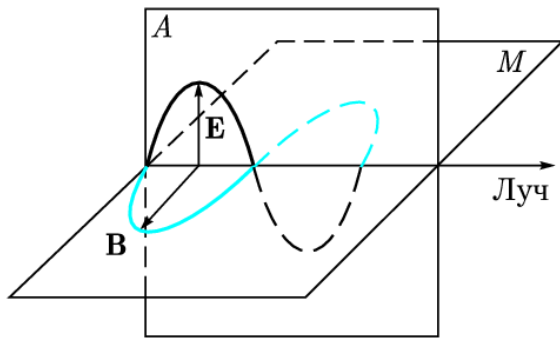


Рис. 19.17

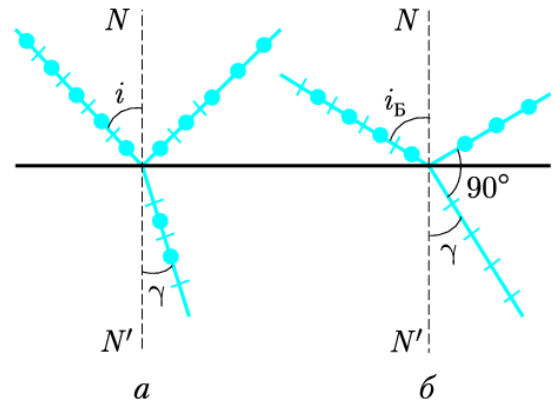


Рис. 19.18

Плоскость A , проходящую через направление колебаний вектора \mathbf{E} и луч (рис. 19.17), называют **плоскостью колебаний**.

Плоскость M , проходящую через луч и перпендикулярную направлению колебаний вектора \mathbf{E} , т. е. плоскость, в которой колеблется вектор \mathbf{B} , называют **плоскостью поляризации**. Плоскости колебаний и поляризации всегда взаимно-перпендикулярны.

Поляризация света при его отражении и преломлении. Поляризованный свет может быть получен при его отражении и преломлении от границы раздела двух диэлектриков. Если угол падения света на границу раздела двух диэлектриков не равен нулю, отраженный и преломленный лучи оказываются частично поляризованными (рис. 19.18, *а*). В отраженном луче преобладают колебания, перпендикулярные плоскости падения, в преломленном луче — колебания, параллельные плоскости падения. При угле падения, удовлетворяющем условию

$$\operatorname{tg} i_{\text{Б}} = n, \quad (19.12)$$

где n — относительный показатель преломления двух сред, отраженный луч поляризован полностью (рис. 19.18, *б*), а преломленный — только частично. Соотношение (19.12) называют **законом Брюстера**, угол $i_{\text{Б}}$ — **углом Брюстера**, или **углом полной поляризации**. Из закона Брюстера и закона преломления $\sin i_{\text{Б}} / \sin \gamma = n$ следует, что при падении луча на диэлектрик под углом полной поляризации отраженный и преломленный лучи взаимно-перпендикулярны.

19.11. Двойное лучепреломление. Поляроиды

Двойное лучепреломление. Как отмечалось ранее, в природе существуют анизотропные вещества, оптические свойства которых по различным направлениям различны. К таким материалам можно отнести, например, кристаллы исландского шпата и кварца. В естественном луче колебания вектора \mathbf{E} происходят по всем направлениям, а так как свойства кристалла в разных направлениях различны, то колебания вектора напряженности электрического поля в различных плоскостях происходят не одинаково, возникают как бы лучи с разным значением \mathbf{E} — на границе раздела двух сред они преломляются различно. Это означает, что колебания, происходящие в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях, которые характеризуются двумя компонентами вектора напряженности элект-

рического поля (E_x и E_y), фактически имеют разные показатели преломления. При этом наблюдается раздвоение луча, или двойное лучепреломление: естественный свет, войдя в кристалл исландского шпата, раздваивается на два луча, поляризованных во взаимно-перпендикулярных плоскостях. Для одного из лучей выполняются законы преломления и поэтому этот луч называют **обыкновенным**, для другого — не выполняются и луч называют **необыкновенным**.

Направления, вдоль которых двойного лучепреломления нет и оба луча (обыкновенный и необыкновенный) распространяются с одинаковыми скоростями, называют **оптическими осями кристалла**. Если такое направление одно, то кристаллы называют **одноосными**. Плоскость, проходящую через падающий луч и оптическую ось кристалла, называют главным **сечением кристалла**.

Обыкновенные и необыкновенные лучи являются одновременно лучами поляризованными; обыкновенный луч поляризован в плоскости главного сечения, а необыкновенный — в плоскости, перпендикулярной плоскости главного сечения.

Призма Николя. Двойкопреломляющие кристаллы непосредственно не используют как поляризаторы, так как пучки обыкновенных и необыкновенных лучей выходят из кристалла под очень малым углом друг к другу или даже перекрываются. Чтобы «развести» эти лучи, пользуются различными поляризующими призмами. Наибольшее распространение получила **призма Николя**, или **николь**. Она состоит из кристалла исландского шпата, имеющего форму параллелепипеда (рис. 19.19). Кристалл разрезается наклонно по плоскости $BEDP$ на две части, а затем склеивается канадским бальзамом. Показатель преломления канадского бальзама 1,549. Показатель преломления исландского шпата для обыкновенных лучей 1,658. Для необыкновенных лучей показатели преломления исландского шпата различны для различных направлений: для лучей, идущих параллельно длинным ребрам призмы, он равен 1,515.

Пусть естественный луч падает на нижнюю грань призмы (рис. 19.20) в плоскости главного сечения (плоскости чертежа) под таким углом, что преломленные лучи, раздвоившись, идут почти параллельно продольным ребрам. Необыкновенный луч, дойдя до слоя канадского бальзама, вступает в него как в среду более преломляющую и продолжает путь, не отклоняясь, так как слой канадского бальзама очень тонок. Обыкновенный луч встречает слой бальзама как среду менее преломляющую и, так как угол его падения больше предельного угла, испытывает полное отражение и поглощается зачерненной гранью призмы. Из призмы выходит один только необыкновенный луч. Направление колебаний вектора E показано на рис. 19.20.

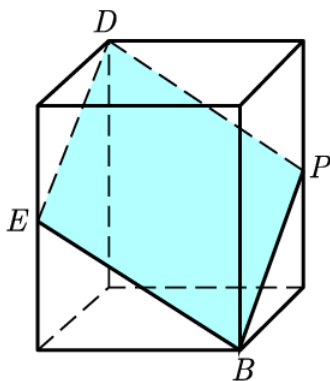


Рис. 19.19

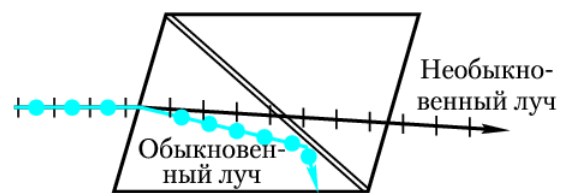


Рис. 19.20

Поляроиды. Используя дихроизм таких двоякопреломляющих кристаллов, как, например, герпатит, изготавливают поляризационные светофильтры (поляроиды). Они представляют собой целлюлоидную пленку, покрытую тонким слоем кристалликов герпатита, ориентированных определенным образом. Эти пленки ведут себя подобно пластинкам, вырезанным из кристалла турмалина: в них происходит двойное лучепреломление и, так же как в пластинке турмалина, один из поляризованных лучей поглощается в самом герпатите, а другой выходит наружу.

Такие устройства, как поляроиды и призмы, могут работать как поляризаторы и анализаторы. Опыт показывает, что некоторые кристаллы и растворы органических соединений при прохождении через них поляризованного луча поворачивают плоскость его поляризации, причем угол поворота плоскости колебаний вектора \mathbf{E} пропорционален пути, пройденному светом в этом веществе. Вещества, вращающие плоскость поляризации, называют *оптически активными*. К их числу принадлежат кварц, раствор сахара в воде и др.

Явление поляризации широко используют в народном хозяйстве. Оно применяется для определения концентрации растворов оптически активных веществ, для определения мест упругих напряжений, возникающих в результате механических нагрузок, при изучении быстро протекающих процессов, таких, например, как звукозапись и воспроизведение звука.

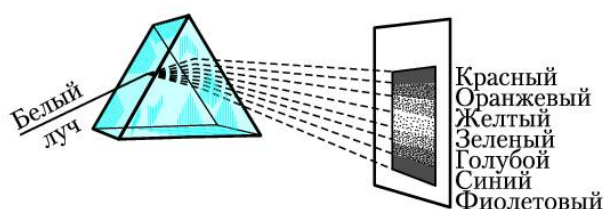
19.12. Дисперсия света

Дисперсия света. Если пропустить пучок белого света через стеклянную призму, то на экране возникнет полоска с непрерывно меняющейся окраской, которая называется *призматическим*, или *дисперсионным, спектром* (рис. 19.21). Разложение белого света в спектр при прохождении через призму — проявление дисперсии. *Дисперсией* называют зависимость скорости света в веществе от длины волны, или зависимость показателя преломления вещества от длины волны.

Почему же белый свет, проходя через призму, разлагается в спектр? С точки зрения волновой теории всякий колебательный процесс можно характеризовать частотой колебаний, амплитудой и фазой. Амплитуда колебаний (точнее, ее квадрат) определяет энергию колебаний. Фаза играет основную роль в явлениях интерференции. Цвет всех лучей связан с длиной волны.

■ Дисперсия света характерна для всех сред, кроме вакуума.

В вакууме скорость распространения электромагнитных волн любой длины одна и та же ($3 \cdot 10^8$ м/с), а в веществе зависит от длины волны. Поэтому отличаются и показатели преломления $n = c/v$ для различных волн, входящих в состав



https://www.youtube.com/watch?v=L3Hbr_ObTn0

<https://www.youtube.com/watch?v=z6zEksnYIpo>
https://www.youtube.com/watch?v=L3Hbr_ObTn0
<https://www.youtube.com/watch?v=4E1AxUMUZ-g>

Задание!!!

1. Прочитать и изучить тему.
2. Просмотреть ссылки к теме.
3. Составить опорный конспект.
4. Скрины прислать на эл почту.

vasilij-korabelnikov@rambler.ru