

§ 19. Поляризационные приборы и использование поляризованных лучей

Для изготовления поляризаторов и анализаторов на практике применяют двоякопреломляющие кристаллы. Из монокристаллов исландского шпата изготавливают так называемые п р и з м ы Н и к о л я (или просто — н и к о л и). Николь представляет собой двойную призму, склеенную в промежутке канадским бальзамом. Призмы выкалываются из кристалла под такими углами, чтобы необыкновенный луч, падающий на переднюю грань, проходил насквозь, практически не преломляясь (рис. 1.105). Обыкновенный луч при этом преломляется и падает на прослойку канадского

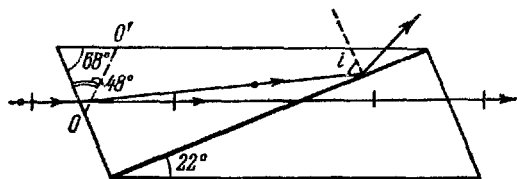


Рис. 1.105.

бальзама под большим углом i . Показатель преломления клея n_6 меньше показателя преломления обыкновенного луча n_o , так что $\sin i > \frac{n_6}{n_o}$; этот луч испытывает полное внутреннее отражение и выходит через боковую грань призмы, где затем полностью поглощается.

Поляризатором является и пластинка из дихроичного кристалла, например турмалина, в котором обыкновенный луч поглощается полностью на расстоянии порядка 1 мм. Однако турмалин в некоторой области длин волн заметно поглощает и необыкновенный луч. При освещении белым светом такая пластинка пропускает зелено-желтые лучи и является одновременно и поляризатором и светофильтром. Еще сильнее поглощает один из лучей сернокислый иод-хинин (герапатит). Осаждая на целлулоидную пленку одинаково ориентированные кристаллики герапатита толщиной $\sim 0,1$ мм, можно получить поляризатор с большой поверхностью, называемый п о л я р о и д о м.

Кристаллы различных веществ создают различное по величине и направлению двойное лучепреломление (в частном случае, NaCl, равное 0). Поэтому, пропуская через них поляризованный свет и измеряя его изменение после прохождения, можно определять оптические характеристики изучаемых кристаллов и производить минералогический анализ. Для этого применяется

поляризационный микроскоп, простейшая схема которого изображена на рис. 1.106.

Поляризатор P выделяет из естественного света параллельный пучок поляризованных лучей. Поляризованный свет проходит через тонкий шлиф $Ш$ исследуемого минерала, а затем после анализатора A попадает в собственно микроскоп M .

Свет, первоначально поляризованный в некоторой плоскости, разлагается исследуемым кристаллом на два луча, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях и распространяющихся с различной скоростью. Анализатор выделяет из обоих лучей колебания, происходящие лишь в той плоскости, которую он пропускает. Поскольку эти лучи получены из одного поляризованного исходного, то они когерентны и дают интерференционную картину, зависящую от оптической разности хода $(n_1 - n_2)\Delta$ внутри кристалла. Так как показатели преломления обоих лучей n_1 и n_2 зависят от длины волны, то эта картина определенным образом окрашена. Посторонние включения в минерале обладают другими оптическими характеристиками, дают иначе окрашенную интерференционную картину и легко различимы в поле зрения микроскопа.

Оптическая анизотропия в теле может быть создана и искусственно, с помощью различных внешних воздействий. Обычное стекло аморфно и изотропно. Если подвергнуть кусок стекла одностороннему напряжению (рис. 1.107), то в направлении действия сил F стекло C сожмется, а в перпендикулярном — расширится. Благодаря такой анизотропии деформации стекло станет оптически анизотропным, в сильно деформированных участках получит свойства двоякопреломляющего кристалла и будет изменять поляризацию проходящего через него света, например превращая линейно поляризованный луч в поляризованный по кругу или по эллипу.

Если стекло свободно от деформаций, то при скрещенных полярзаторе P и анализаторе A на экране E будет полная темнота. Если стекло C деформировано, то лучи, идущие от полярзатора, проходя деформированные участки, изменят свою поляризацию и в дальнейшем не будут полностью гаситься анализатором. На экране E появятся в соответствующих местах светлые пятна,

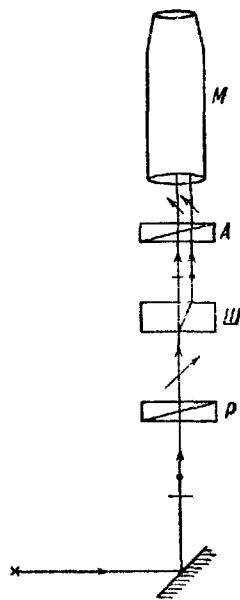


Рис. 1.106.

интенсивность и окраска которых характеризуют степень деформированности отдельных участков.

Этим методом можно обнаружить остаточные деформации, возникающие в стеклянных деталях при закалке. Широкое применение получил в настоящее время оптический метод исследования напряжений на прозрачных моделях. Модель конструкции изготовляют из прозрачного изотропного вещества и нагружают силами, пропорциональными силам, которые будут действовать на практике. Возникающие в модели деформации делают соответствующие участки анизотропными. Просвечивая модель поляризованным светом, например

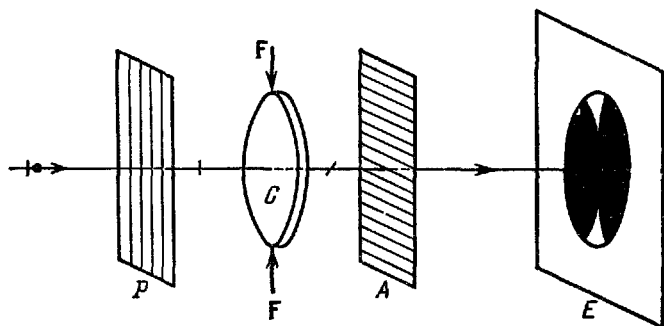


Рис. 1.107.

по схеме, изображенной на рис. 1.107, можно определить деформации и напряжения в модели, а затем пересчитать их на проектируемую конструкцию.

Оптическую анизотропию диэлектрика можно создать, воздействуя на него не только механическими, но и электрическими силами. Это явление носит название эффекта Керра. При помещении диэлектрика в сильное внешнее электрическое поле $E_{вн}$ поляризуемость (ориентационная способность молекулярных диполей) в направлении $E_{вн}$ становится несколько отличной от поляризуемости в перпендикулярном направлении, т. е. $\epsilon_{\perp} \neq \epsilon_{\parallel}$. В оптическом отношении такой диэлектрик ведет себя как одноосный кристалл (дает двойное лучепреломление) независимо от того, является он твердым, жидким или газообразным.

На рис. 1.108 схематически изображена так называемая ячейка Керра. Жидкий нитробензол заполняет пространство между пластинами конденсатора K , к которому может быть приложено напряжение $U_{вн}$. Эта прозрачная ячейка помещена между скрещенными николями P и A . В отсутствие поля ($U_{вн} = 0$) нитробензол изотропен, свет от источника S полностью гасится скрещенными

николями и не доходит до фотоэлемента Φ . При включении внешнего поля нитробензол становится двоякопреломляющим и свет доходит до фотоэлемента аналогично примерам, приведенным ранее на рис. 1.106 и 1.107.

При выключении поля поляризация и двоякопреломляющая способность нитробензола исчезают не мгновенно. Прямые измерения показали, что время деполяризации составляет около 10^{-10} сек. Такой промежуток времени достаточен для того, чтобы через ячейку к фотоэлементу прошло большое число световых волн, период колебаний которых порядка $T_{\text{ннд}} \approx 10^{-14}$ сек, но очень мал по сравнению с используемыми в технике интервалами времени.

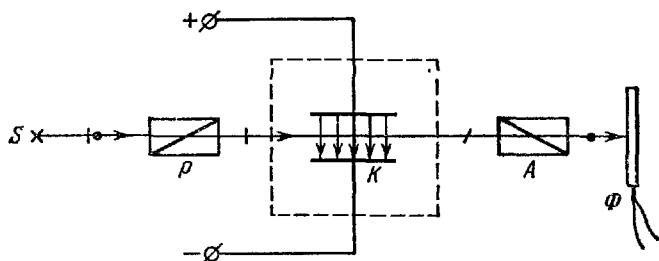


Рис. 1.108.

Поэтому ячейка Керра широко используется в качестве практически безынерционного затвора для световых лучей при сверхскоростных фотосъемках. С помощью такой ячейки могут быть осуществлены прерыватели светового пучка с частотой прерывания, определяемой частотой изменения $U_{\text{вн}}$ и во много раз большей, чем у механических прерывателей с движущимися частями. Заменяя в опыте Физо (§ 2) механический прерыватель ячейкой Керра, можно резко укоротить необходимый путь луча и произвести измерение скорости света в лабораторных масштабах.

Из других применений поляризованных лучей упомянем о возможности борьбы с их помощью со слепящим действием автомобильных фар на водителей встречных автомашин. Если в законодательном порядке смотровые стекла и стекла в фарах заменить поляроидами, ориентированными под одинаковым углом 45° к горизонтали, то поляроиды фар идущей машины ориентированы перпендикулярно (скрещены) относительно поляроидов смотрового стекла встречной машины и полностью гасят свет, слепящий глаза водителя. То, что дорога при этом освещается поляризованным светом, не играет существенной роли, так как этот свет рассеивается от всех мелких неровностей и деполяризуется.

Находят многочисленные применения и лучи с другими типами поляризации, например круговой и эллиптической.

Лучи, поляризованные по кругу, в которых векторы \mathbf{E} и \mathbf{H} вращаются в левую относительно наблюдателя (рис. 1.109, а) и вращаются вправо (рис. 1.109, б), могут распространяться в веществе, в зависимости от строения последнего, с различными

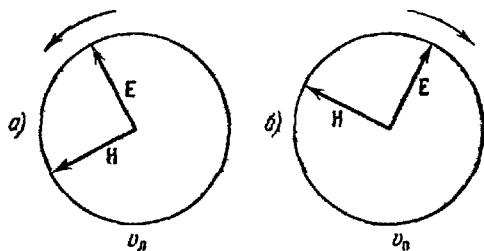


Рис. 1.109.

ными и скоростями v_a и v_n (аналогично различию скоростей распространения в кристаллах лучей, линейно поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях).

Пусть два луча, поляризованных по кругу с противоположными направлениями вращения и имеющих одинаковую амплитуду,

распространяются совместно. При сложении таких вращений в каждой точке луча получается линейное колебание. Если бы скорости v_a и v_n были одинаковы, то ориентация плоскости колебаний вдоль луча оставалась бы одинаковой и в веществе распространялся плоскополяризованный луч со скоростью $v = v_a = v_n$.

При $v_n \neq v_a$, если на входе в среду (рис. 1.110, а) фазы обоих круговых лучей одинаковы по величине, то суммарный вектор \mathbf{E} линейно колеблется в плоскости AA . Так как $v_n \neq v_a$, то до некоторой точки внутри среды в данный момент правая волна дойдет с некоторым отставанием в фазе относительно левой, и ее вектор будет повернут вправо на больший угол, чем у левой волны влево. При сложении этих векторов плоскость колебаний \mathbf{E} повернется вправо на угол ψ (см. рис. 1.110, б) относительно AA , причем

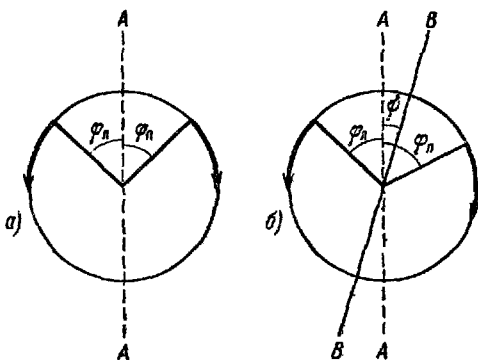


Рис. 1.110.

$$\psi = \frac{2\pi l}{v_n} - \frac{2\pi l}{v_a} = \frac{2\pi v}{c} (n_n - n_a) l = \alpha l, \quad (19.1)$$

где l — путь луча в среде, а α — коэффициент, характеризующий вращение плоскости поляризации на единицу длины пути.

Таким образом, плоскость колебаний линейно поляризованного луча по мере прохождения его через среду со значениями $n_{\parallel} \neq n_{\perp}$ будет непрерывно поворачиваться в пространстве. Это явление вращения плоскости поляризации в основном обусловлено наличием определенной асимметрии в строении отдельных молекул среды и угол поворота ψ прямо пропорционален числу этих молекул на пути луча. Вещества, дающие вращение плоскости поляризации, называются оптически активными.

В некоторых кристаллах, например в кварце, оптическая активность обусловлена особенностями строения самого кристалла, а не составляющих его молекул. На рис. 1.111 изображены два кристаллика кварца, одинаковые по своей кристаллической структуре и ограничению, но антисимметричные, являющиеся зеркальным изображением один другого. Пластины, вырезанные из одного из этих кристаллов, вращают плоскость поляризации вправо ($n_{\parallel} > n_{\perp}$ и $\alpha_{+} > 0$), а пластины, вырезанные из другого,

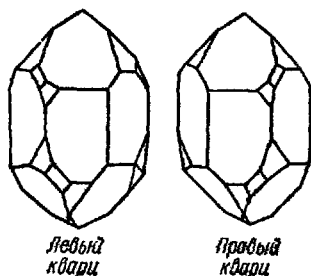


Рис. 1.111.

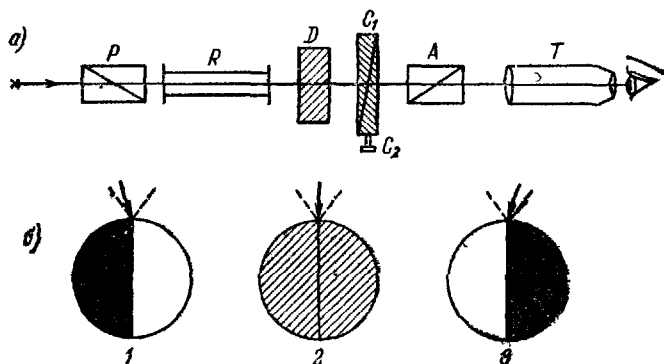


Рис. 1.112.

дают такое же вращение влево ($\alpha_{-} = -\alpha_{+}$). Для четкого наблюдения этого явления плоскополяризованный луч должен входить в кристалл вдоль оптической оси, т. е. в том направлении, в котором отсутствует двойное лучепреломление.

Вещества с симметричным строением могут стать оптически активными при помещении их в сильное внешнее магнитное поле $H_{вн}$ (эффект Фарадея).

В растворах оптически активных веществ вращение плоскости поляризации пропорционально длине l пути луча и концентрации раствора

$$\psi = \beta cl \quad (19.2)$$

Поэтому явление вращения плоскости поляризации нашло широкое применение в промышленности для измерения и контроля концентрации оптически активных растворов

На рис. 1.112 приведена схема полутеневого поляриметра для измерения концентрации растворов сахара (сахариметра). Трубки с испытуемым раствором R помещаются между двумя николями P и A . Анализатор A разделен на две половины, причем каждая из них способна пропускать лучи, поляризованные в плоскостях, отличающихся на некоторый угол (от 1° до 5°). Эти лучи попадают в разные половины поля зрения трубы T , освещенность которых сравнивается глазом (рис. 1.112, *a*). Когда на анализатор будет падать луч, поляризованный в плоскости, делящей угол между плоскостями анализатора пополам, то обе половины поля будут освещены одинаково (случай 2—полутень), в противном же случае одна будет темная, а другая светлая (случаи 1 и 3, рис. 1.112, *б*).

Для определения угла поворота ψ употребляют специальный компенсатор, который состоит из пластинки D правовращающего кварца и двух скользящих друг около друга клиньев C_1 и C_2 левовращающего кварца, образующих пластинку переменной толщины. Смещение клиньев может быть точно отсчитано по шкале микрометрического устройства.

При отсутствии раствора, когда произведена установка на «полутень», отсчет по шкале равен нулю. Регулируя положение клиньев (толщину переменной пластинки), можно компенсировать поворот плоскости поляризации, вызванный введением раствора сахара, и измерить концентрацию последнего по шкале.