

падения, тогда как колебания обыкновенного луча перпендикулярны к ней. Для двух направлений AB и CD один из лучей пропадает, как это видно из чертежа. В A и B пропадает обыкновенный луч, в C и D пропадает необыкновенный луч. В этих точках из кристалла выходят плоскополяризованные лучи. В случае скрещенных николей эти лучи гасятся, чем и объясняется появление черного креста, совпадающего с AB и CD . В случае параллельных николей тот же крест становится белым. При интерференции в двуосном кристалле картина сложнее и имеет вид, показанный на рис. IV в конце книги.

§ 38. Оптический метод исследования упругих натяжений. Эффект Керра

Как указывалось выше, двойное лучепреломление в кристаллах тесно связано с анизотропией их остальных физических свойств.

Если у аморфных тел вызвать искусственную анизотропию их свойств, то при этом также можно ожидать появления двойного лучепреломления. Действительно, кусок стекла, сжатый в одном каком-либо направлении, приобретает свойство двойного лучепреломления. Такой кусок стекла, помещенный между двумя николями, дает интерференционную картину (рис. V в конце книги), причем на одной и той же интерференционной полосе лежат точки с одинаковым сжатием или растяжением.

Этим пользуются для практических целей, когда надо выяснить распределение напряжений в какой-либо механической детали. Для этого изготовляют из целлулоида модель детали, например фермы, нагружают ее соответствующими грузами и помещают между скрещенными поляризатором и анализатором (николи или поляроиды). Тогда видимая интерференционная картина сразу дает распределение напряжений. Возникает вопрос, в какой мере можно переносить результаты, полученные на модели, сделанной из одного вещества, на реальный объект, состоящий из другого вещества? В теории упругости имеется очень важная теорема, согласно которой распределение напряжений в теле не зависит от значений модуля Юнга и коэффициента Пуассона (т. I, § 43, 1959 г.). От них зависят только абсолютные величины напряжений. Этим и определяется эффективность оптического метода исследования распределения механических напряжений. В таких стеклянных изделиях, как радиолампы и телевизионные трубки, оптический метод служит для непосредственного определения вредных напряжений и браковки.

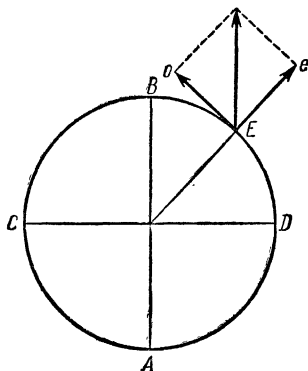


Рис. 145. Разложение колебаний в кристалле.

Оптический метод применяют не только при статических условиях, но и при динамических нагрузках. Например, модель маховика приводят в быстрое вращение и, сочетая стробоскопический метод наблюдения с поляризационным, получают распределение возникающих при этом напряжений (рис. VI в конце книги).

Оптическим методом пользуются при выборе рациональной формы резцов для токарных станков, мостовых ферм, подпорных стенок гидростанций и других строительных сооружений. В России пионером применения этого весьма полезного метода был известный профессор механики В. Л. Кирпичев.

Поскольку величина двойного лучепреломления пропорциональна градиенту натяжений в целлулоиде, то, анализируя наблюдаемую картину, можно сделать и количественные заключения. Для получения количественных данных необходимо знать разность фаз между обыкновенными и необыкновенными лучами, возникающими в таком искусственном кристалле. Измерение разности фаз производится при помощи так называемого компенсатора — кристаллической пластинки, вырезанной параллельно оптической оси. Компенсатор, расположенный соответствующим образом, благодаря двойному лучепреломлению уничтожает (компенсирует) получившуюся разность фаз. Шкала компенсатора дает искомую величину разности фаз.

Очень интересно использована интерференция поляризованного света для исследования потока жидкости. С этой целью применяются коллоидные растворы с частицами удлиненной формы и обладающими двойным лучепреломлением. Наилучшие результаты дают растворы пентаоксида ванадия (V_2O_5) и бентонитовых глин. При движении потока частицы ориентируются вдоль направления скорости и жидкость становится анизотропной по своим оптическим свойствам. Ориентация частиц выражена тем сильнее, чем больше скорость жидкости. Помещая плоскопараллельный сосуд со стеклянными стенками между поляроидами, можно таким методом получить распределение скоростей по сечению потока. Преимущество метода состоит в большой чувствительности, позволяющей исследовать очень медленные потоки.

Двойное лучепреломление в аморфных телах может вызываться также наложением электрических и магнитных полей. Магнитное поле дает весьма слабый эффект; мы подробнее остановимся на действии электрического поля, на так называемом эффекте Керра. Появление двойного лучепреломления в жидкостях, помещенных в электрическое поле, объясняется, по Ланжевену, ориентацией молекул в электрическом поле, которая создает структуру, подобную кристаллической: молекулы поворачиваются по полю так же, как стрелка компаса в магнитном поле Земли. Чем большей анизотропией обладают молекулы, тем сильнее эффект. Обычно в качестве такой жидкости применяют нитробензол. Схема для наблюдения эффекта Керра изображена на рис. 146. Между двумя скрещенными

никами P и A помещают кусок прозрачного вещества или, что лучше, сосуд S с какой-нибудь непроводящей жидкостью, например с нитробензолом; между металлическими пластинами, погруженными в жидкость, накладывается большая разность потенциалов; тогда жидкость становится двупреломляющей. Разность показателей преломления n_o и n_e связана с напряженностью поля E следующим простым соотношением:

$$n_o - n_e = B\lambda E^2, \quad (5)$$

где B — так называемая константа Керра.

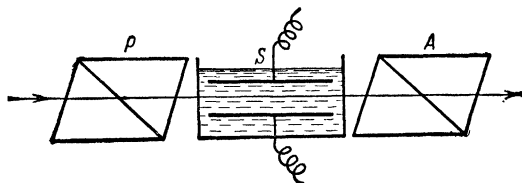


Рис. 146. Схема установки для наблюдения явления Керра.

Чтобы привести формулу к более удобному для расчетов виду, умножим ее правую и левую части на длину слоя l и разделим на λ . Тогда получим следующее выражение:

$$\frac{ln_o}{\lambda} - \frac{ln_e}{\lambda} = B l E^2 \quad \text{или} \quad \frac{l}{\lambda} - \frac{l}{\lambda} = B l E^2. \quad (6)$$

Так как $\frac{\lambda}{n_o}$ — длина волны обыкновенного луча в жидкости, то $\frac{l}{\lambda}$ есть число волн обыкновенного луча, укладываемых на длину слоя l ; $\frac{l}{\lambda}$ — та же величина для необыкновенного луча. По-

этому левая часть вышеприведенной формулы есть не что иное, как разность хода между этими лучами, выраженная числом длин волн.

Из формулы (6) легко вычислить разность потенциалов, необходимую для получения максимума света, прошедшего сквозь керровскую ячейку. Как мы уже указывали в § 37, максимум яркости при скрещенных николях соответствует разности фаз π или, что то же, разности хода в полволны, т. е. левая часть (6) должна равняться 0,5. В случае нитробензола константа B имеет величину около $2 \cdot 10^{-5}$; длину сосуда примем равной 0,5 см; расстояние между пластинами пусть будет 0,2 мм. Тогда

$$0,5 = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{V}{0,02} \right)^2,$$

где V — разность потенциалов в электростатических единицах:

$$V = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 0,0004}{2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5}} = 4,5 \text{ эл.-стат. ед. потенциала} \approx 1350 \text{ в.}$$

Основным достоинством керровской ячейки является практическая безынерционность установления и исчезновения эффекта порядка 10^{-9} сек. В связи с этим ячейка Керра представляет один из самых быстродействующих световых затворов и применяется при фотографировании быстро протекающих процессов. На применении ячейки Керра была основана первая советская система звукового кино П. Г. Тагера («тагелефон»). Напряжение на ячейке Керра модулировалось со звуковой частотой (т. II, § 95, 1959 г.; в пред. изд. § 101).

§ 39. Вращение плоскости поляризации. Эллиптическая поляризация

Если на поляроид падает плоскополяризованный луч и между главной плоскостью поляроида и плоскостью поляризации луча существует некоторый угол, то плоскость поляризации луча, вышедшего из поляроида, будет повернута на этот же угол. Собственно говоря, как мы уже видели выше, неправильно в данном случае говорить о повороте плоскости поляризации. Сквозь поляроид проходит лишь проекция на данное направление исходного колебания. Чем больше угол, тем меньше амплитуда прошедшего колебания (§ 35).

В так называемых активных веществах дело обстоит совсем иначе. В них действительно происходит поворот плоскости поляризации проходящего луча. Поворот пропорционален толщине проходимого вещества. Вышедший луч имеет *ту же амплитуду, но другую плоскость поляризации*. Схема установки для наблюдения явлений вращения плоскости поляризации аналогична схеме для наблюдения интерференции (рис. 140): между поляроидами A и P помещают или кусок активного вещества, или сосуд, наполненный активной жидкостью. Если мы помещаем активное вещество между скрещенными поляроидами, то поле светлеет, и, чтобы опять получить темноту, надо повернуть анализатор (или поляризатор) на некоторый угол. Очевидно, этот угол равен углу поворота плоскости поляризации. Величина и направление поворота зависят от вещества, толщины слоя вещества, а также от длины волны света.

Из твердых веществ к числу сильно вращающих принадлежат сахар и кварц; из жидкостей — винная кислота, моча и сахарный раствор.

Активные вещества делятся на *право- и левовращающие* в зависимости от направления вращения. Например, кварц бывает право- и левовращающим, есть право- и левовращающая винная кислота.