

Лекция 13

План

1. Двойное лучепреломление света на границе с анизотропной средой.
2. Получение и анализ поляризованного света.
3. Наведенная анизотропия: электрооптические и магнитооптические эффекты.
4. Естественное вращение плоскости поляризации света.

Двойное лучепреломление света на границе с анизотропной средой

- Попадая в кристалл, световой луч раздваивается — эффект двойного лучепреломления.
- Независимо от состояния поляризации падающего света оба преломленных луча оказываются линейно поляризованными во взаимно перпендикулярных направлениях, причем один из преломленных лучей может не лежать в плоскости падения.
- Преломление луча имеет место даже при нормальном падении света на границу анизотропного кристалла.

Закон преломления следует записывать отдельно для обыкновенной и необыкновенной волн:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2^o \sin \theta_2^o$$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2^e \sin \theta_2^e$$

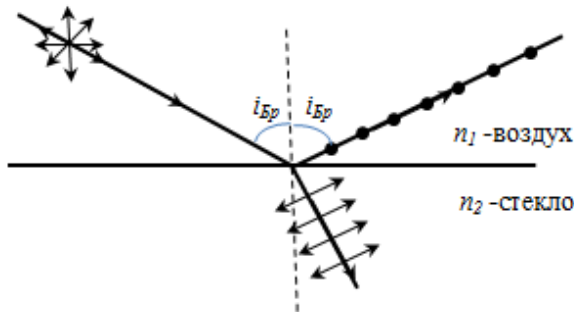
Для необыкновенной волны направление луча, задаваемое направлением вектора Пойнтинга в общем случае не совпадает с направлением волнового вектора. Это обстоятельство и объясняет эффект преломления света в анизотропном кристалле при нормальном падении — **аномальное преломление**.

Получение и анализ поляризованного света

Анизотропное отражение

Если падающая световая волна поляризована в плоскости падения, то отраженная волна отсутствует. Этот эффект называют **эффектом Брюстера**. Угол, при котором это происходит, называют **углом Брюстера**. Используя закон преломления, нетрудно вычислить величину этого угла:

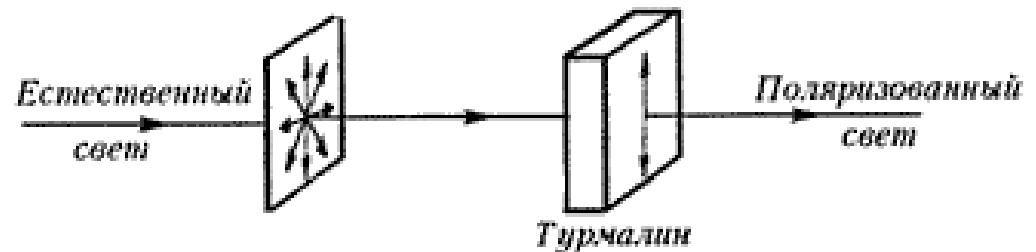
$$\theta_B = \arctan\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$$



Брюстеровский угол называют также углом полной поляризации. Действительно, если падающий под этим углом свет неполяризован, то отраженный пучок света линейно поляризован перпендикулярно плоскости падения. Таким образом, эффект Брюстера можно использовать для получения **линейно поляризованного света**.

Анизотропное поглощение

Существуют анизотропные кристаллы, обладающие различным поглощением по отношению к обыкновенной и необыкновенной волнам.



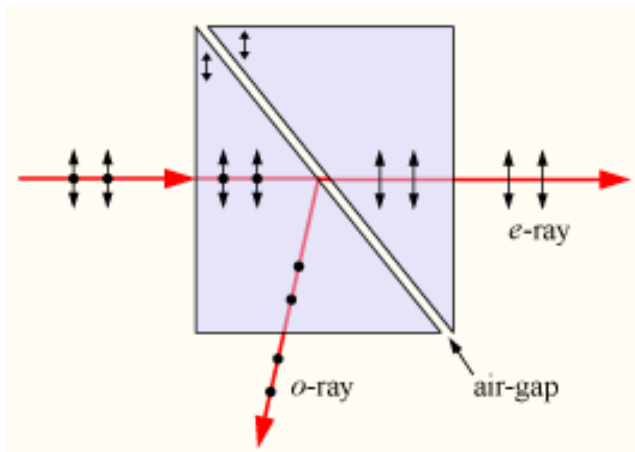
Если направить на кристалл неполяризованный свет, то при определенной толщине пластинки можно получить на выходе линейно поляризованный свет (необыкновенная волна проходит через кристалл, обыкновенная поглощается).

Если же направить на кристалл линейно поляризованный свет, то пропускание света будет зависеть от взаимной ориентации кристалла и направления поляризации света. В этом случае кристалл работает как анализатор. Аналогичным образом работают пленочные поляроиды, использующие синтетические анизотропные материалы.

Анизотропное преломление

Призма Глана

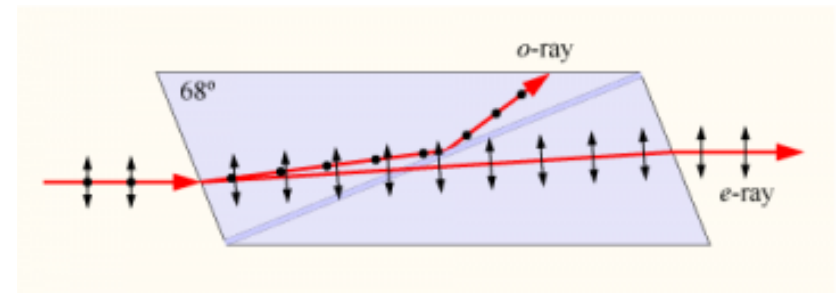
(два кристалла кальцита, разделенных воздушным промежуток)



$$n_o = 1,658 \quad n_e = 1,486$$

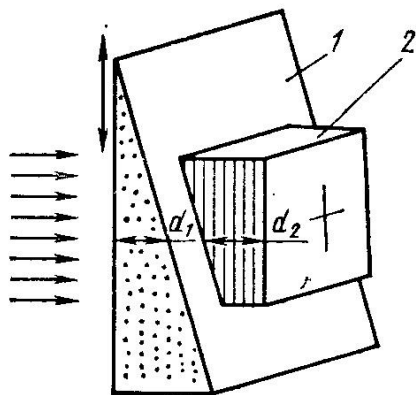
Призма Николя

(призмы из кальцита, склеенные тонким слоем канадского бальзама)



Анизотропное преломление

Компенсаторами называются устройства, позволяющие плавно изменять разность фаз ортогональных колебаний светового поля. С помощью компенсатора можно преобразовать эллиптически поляризованный свет в линейно поляризованный, а также измерить параметры эллипса поляризации.



$$n_o = 1,544 \quad n_e = 1,553$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_e - n_o)(d_1 - d_2)$$

Компенсатор Бабине - есть система из двух кварцевых клиньев, вырезанных так, что их оптические оси взаимно перпендикулярны. Один из клиньев может перемещаться в направлении, перпендикулярном падающему пучку лучей, другой же клин неподвижен. Компенсатор устанавливается между поляризатором и анализатором.

Эта разность фаз плавно меняется при перемещении компенсатора поперек светового пучка.

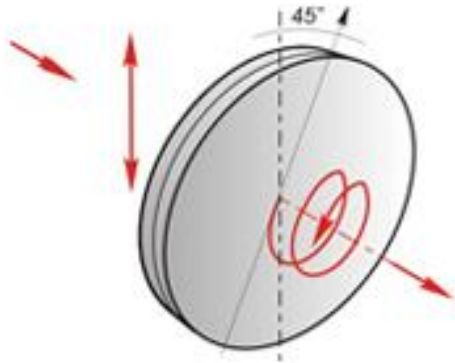
Управление поляризацией света

При распространении в кристалле между обыкновенной и необыкновенной волнами возникает фазовый набег:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d$$

d - толщина пластинки

Четвертьволновая пластинка:



$$(n_e - n_o)d = \frac{\lambda}{4}$$

преобразует линейную поляризацию света в круговую и наоборот

Полуволновая пластинка:

$$(n_e - n_o)d = \frac{\lambda}{2}$$

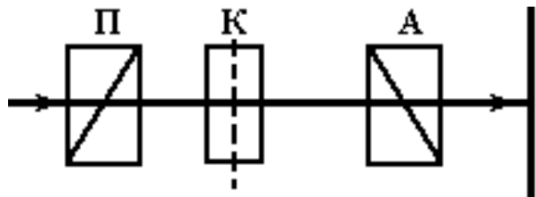
поворачивает плоскость поляризации света на $\pi/2$

Интерференция поляризованных лучей

Обыкновенная и необыкновенная волны, распространяющиеся в анизотропном кристалле, **не могут** интерферировать между собой.

Используя поляризационные приспособления, можно наблюдать зависимость интенсивности света от разности фаз ортогональных компонент поля световой волны.

Схема наблюдения интерференции поляризованных лучей

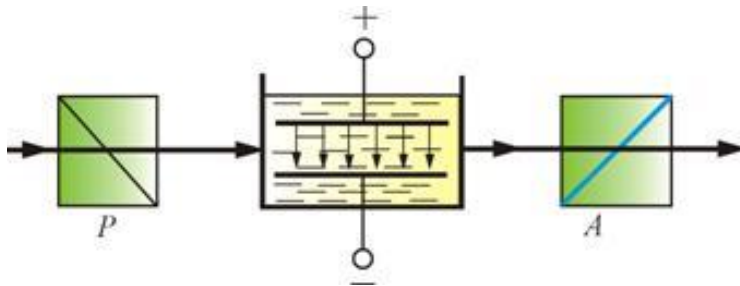


Если положения поляризатора и анализатора фиксированы, то интенсивность света на экране зависит от взаимной ориентации поляризатора и кристалла, а также от фазового набега $\Delta\varphi$, возникающего между обыкновенной и необыкновенной волнами в кристалле.

Фазовый набег, возникающий между обыкновенной и необыкновенной волнами в кристалле, зависит от материала пластинки, ее толщины, а также от длины световой волны. Если в системе используется белый свет, волны разных частот по-разному изменяют состояние поляризации и, следовательно, по-разному пропускаются анализатором. Таким образом, коэффициент пропускания системы зависит от длины световой волны. Это приводит к тому, что свет, прошедший через систему, приобретает окраску.

Наведенная анизотропия: электрооптические и магнитооптические эффекты

Эффект Керра (1875 г)



Ячейка Керра

Инерционность $\sim 10^{-12} \text{ с}^{-1}$

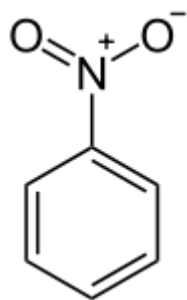
Если вещество поместить во внешнее электрическое поле, то возникающий при этом момент силы, действующей на индуцированный полем диполь, заставляет молекулу повернуться таким образом, чтобы ось наибольшей поляризуемости сориентировалась вдоль поля. Среда становится оптически анизотропной, подобно одноосному кристаллу, в котором направление оптической оси совпадает с направлением поля.

Разность фаз обыкновенной и необыкновенной волн в среде равна:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_e - n_o) d = 2\pi B d E^2$$

где d — путь проходимый лучом света в среде. Константа B называется постоянной Керра.

Особенно заметно эффект Керра проявляется в **нитробензоле**, который обладает большим значением B : на пути $d = 10$ см и напряженности поля $E = 1.5 \cdot 10^6$ В/м разность фаз близка к значению $\pi/2$ (луч света распространяется в среде перпендикулярно приложенному полю).



Дипольный момент 4,22 Д

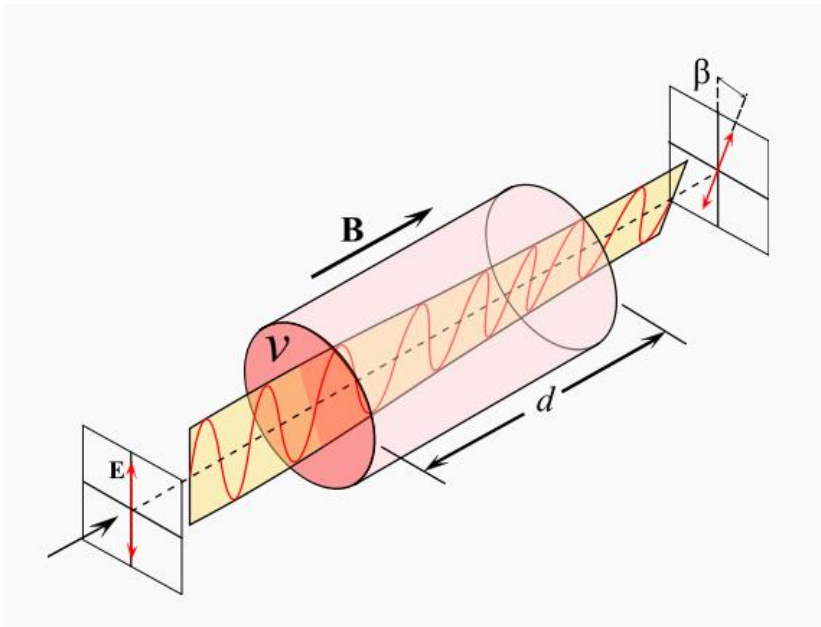
Линейные по намагниченности эффекты, проявляющиеся при отражении света от поверхности намагниченного материала, объединяются общим названием — **магнитооптические эффекты Керра**. Линейно поляризованный свет после отражения от поверхности намагниченного материала будет эллиптически поляризованным; при этом большая ось эллипса поляризации повернётся на некоторый угол по отношению к плоскости поляризации падающего света, а интенсивность отраженного света изменится.

Эффект Фарадея

При прохождении света через вещество, помещенное в магнитное поле, наблюдается поворот плоскости поляризации линейно-поляризованной волны. Этот эффект называется **эффектом Фарадея**. Угол поворота

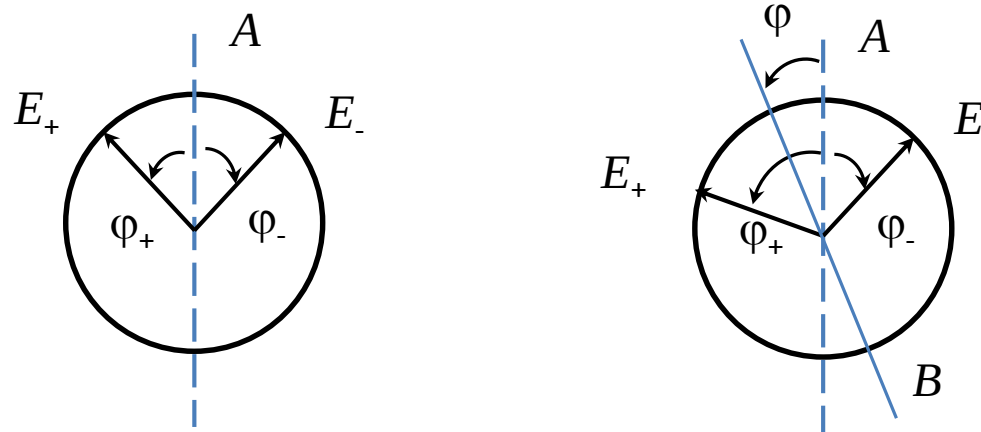
$$\beta = \rho l \vec{H}$$

где ρ — постоянная Верде, l — длина среды, H — напряженность магнитного поля.



Для наблюдения эффекта Фарадея исследуемое вещество помещается между полюсами электромагнита, расположенный между двумя скрещенными поляризаторами.

Классический подход: линейно-поляризованную волну можно представить в виде суперпозиции двух волн с левой и правой круговой поляризацией.



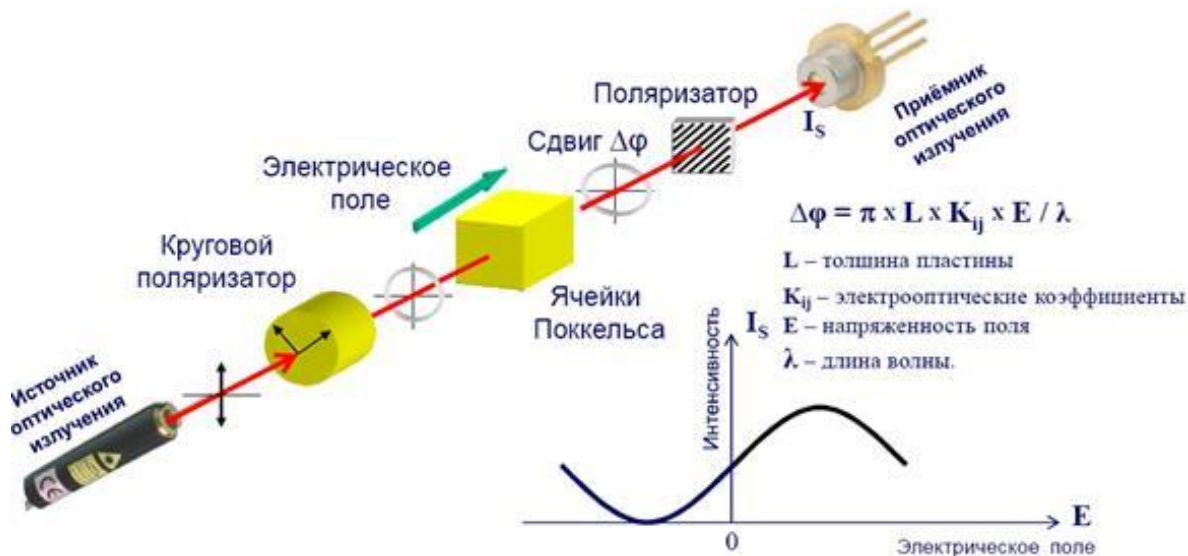
Магнитное поле приводит к анизотропии показателей преломления

$$\varphi = \frac{1}{2}(\varphi_+ - \varphi_-) = \frac{\omega}{2c}(n_+ - n_-)l$$

С точки зрения классической физики молекулы и атомы — это системы с круговым движением электронов, создающих магнитный момент с частотой обращения ω_0 . Известно, что в магнитном поле электронная орбита прецессирует с частотой $\Omega \ll \omega_0$. При этом возможна прецессия как совпадающая с направлением движения электронов, так и противоположная. Поэтому в спектре атома, помещенного в магнитное поле, появляются две характерные частоты, соответствующие право- и левополяризованному излучению. Это приводит к отличию показателей преломления на указанных частотах

Эффект Поккельса

— явление возникновения двойного лучепреломления в оптических средах при наложении постоянного или переменного электрического поля. Он отличается от эффекта Керра тем, что линеен по полю, в то время как эффект Керра квадратичен.

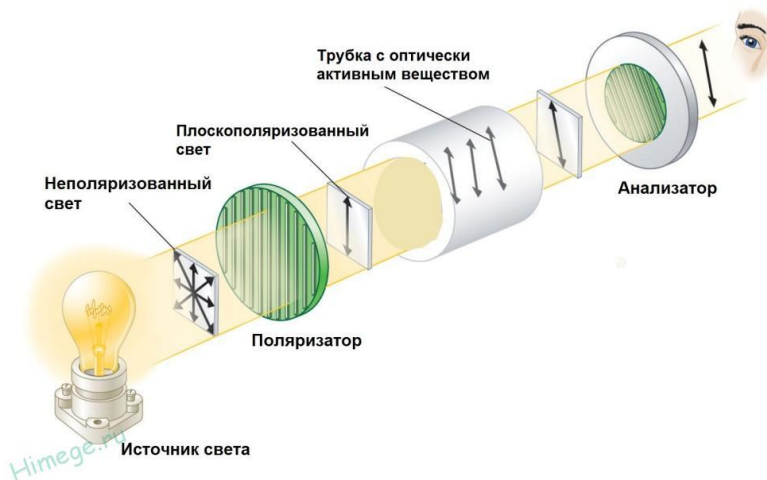


Если поместить одноосный кристалл в электрическое поле и направить вдоль оптической оси z луч света, в котором поле E может иметь только x и y -компоненты, то фазовые скорости волн E_x и E_y становятся различными (в отсутствие поля обе компоненты имеют равные скорости $v_x = v_y = c/n_o$)

В силу линейности эффект Поккельса может наблюдаться лишь в кристаллах, не обладающих центром симметрии: в силу линейности при изменении направления поля эффект должен менять знак, что невозможно в центрально-симметричных телах. Эффект хорошо заметен в кристаллах ниобата лития и арсенида галия

Естественное вращение плоскости поляризации света

Существуют среды, при распространении в которых линейно поляризованного света происходит поворот его плоскости поляризации в отсутствие внешнего магнитного поля. Это явление называют **естественным вращением плоскости поляризации** или естественной активностью, или гиротропией. Вещества, в которых это происходит, называют гиротропными или **естественно оптически активными** или хиральными (Араго, 1811 г. для кристаллов кварца, позднее Био для растворах сахара)



Угол поворота зависит от длины волны света и пропорционален толщине слоя l активного вещества:

$$\varphi = \alpha_0(\lambda)l$$

α_0 - постоянная вращения данного вещества, зависящая от длины волны.

При изменении направления распространения света на противоположное поворот плоскости поляризации происходит в обратную сторону

$$\varphi = \frac{1}{2}(\varphi_+ - \varphi_-) = \frac{\omega}{2c}(n_+ - n_-)l$$

Оптически активные вещества встречаются в виде пар оптических антиподов – изомеров, физические и химические свойства которых в обычных условиях одинаковы, за исключением одного – знака вращения плоскости поляризации.

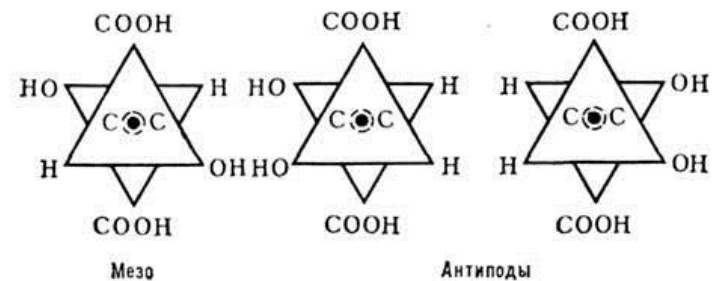
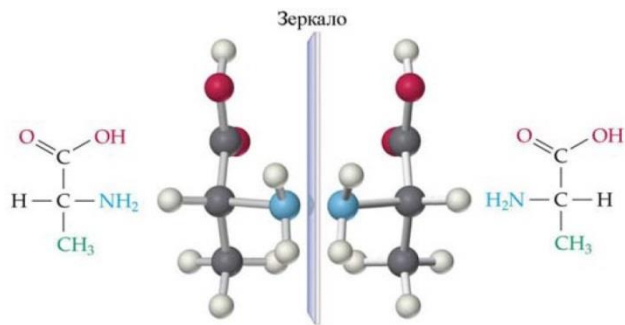
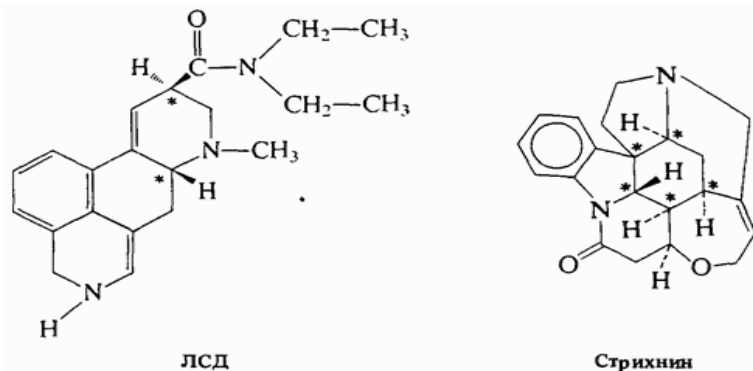


Рис. 5.



Диэтиламин
лизергиновой кислоты

Хиральные вещества природного происхождения всегда являются оптически чистыми, поскольку растения и животные вырабатывают лишь один энантиомер, именно тот, который и обладает биологической активностью. В химических синтезах, наоборот, обычно образуется рацемическая смесь, которая, оптически неактивна