

Лекция 16-17. Поляризация света. Голография

1. Естественный и поляризованный свет.
2. Закон Малюса.
3. Закон Брюстера.
4. Распространение ЭМ волн в одноосных кристаллах. Двойное лучепреломление.
5. Поляризация света при двойном лучепреломлении.
6. Поляризационные призмы и поляроиды.
7. Опорная и предметная волны. Запись и воспроизведение голограмм.
8. Применения голографии.

Поляризация света

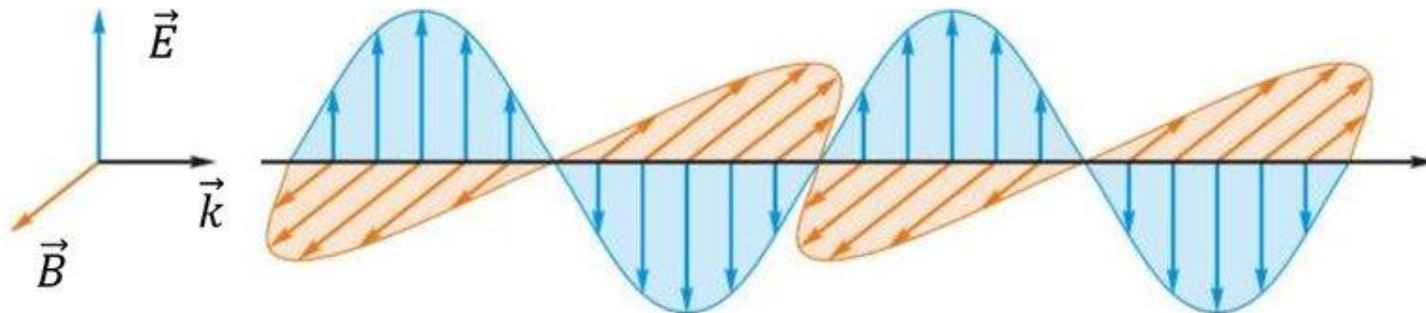
Виды поляризации

Согласно электромагнитной теории света электромагнитная волна **поперечна**: три вектора: \vec{E} , \vec{B} и волновой вектор \vec{k} взаимно перпендикулярны.

Действие света на вещество определяется в основном колебаниями вектора напряженности \vec{E} . В соответствии с этим вектор напряженности называют еще световым вектором.

Гармоническая электромагнитная волна

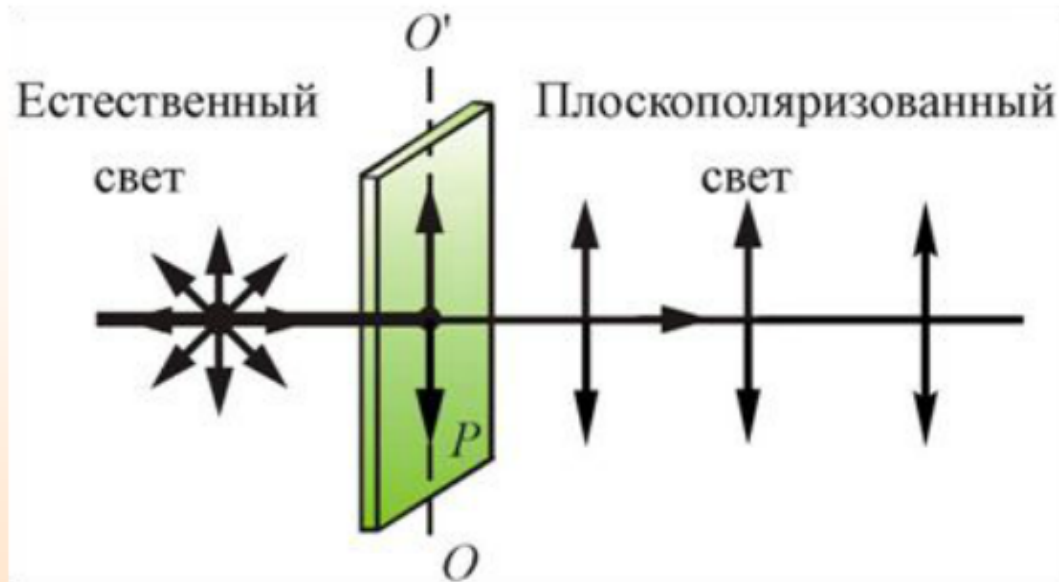
$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \vec{k}\vec{r}), \quad \vec{B} = \vec{B}_0 \cos(\omega t - \vec{k}\vec{r})$$



Линейно поляризованный свет:

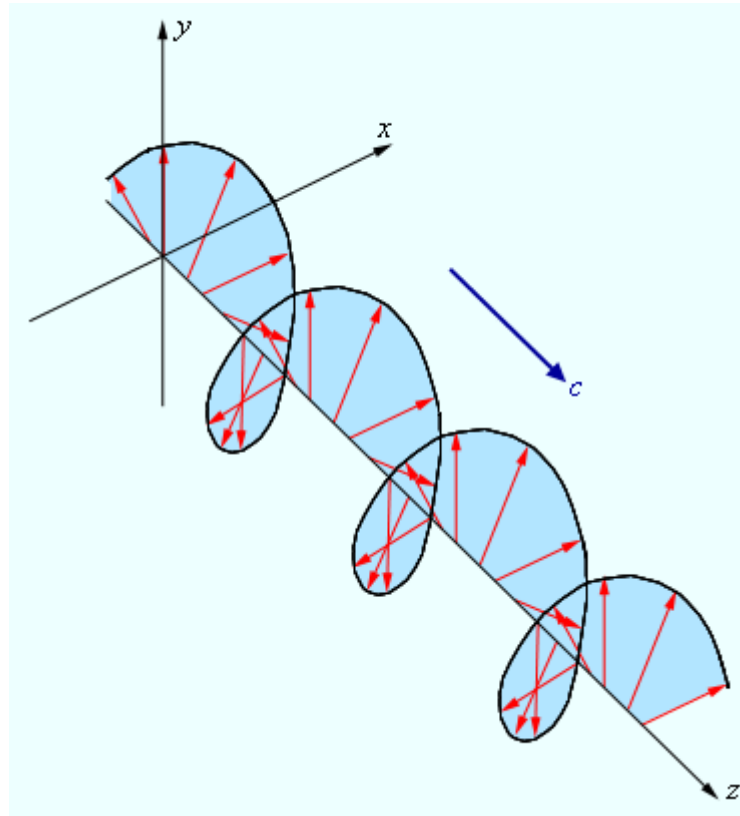
Устройства, позволяющие получать линейно поляризованный свет из естественного, называют **линейными поляризаторами**:

- свободно пропускают колебания, параллельные **плоскости поляризатора**,
- полностью или частично задерживают колебания перпендикулярные к его плоскости.

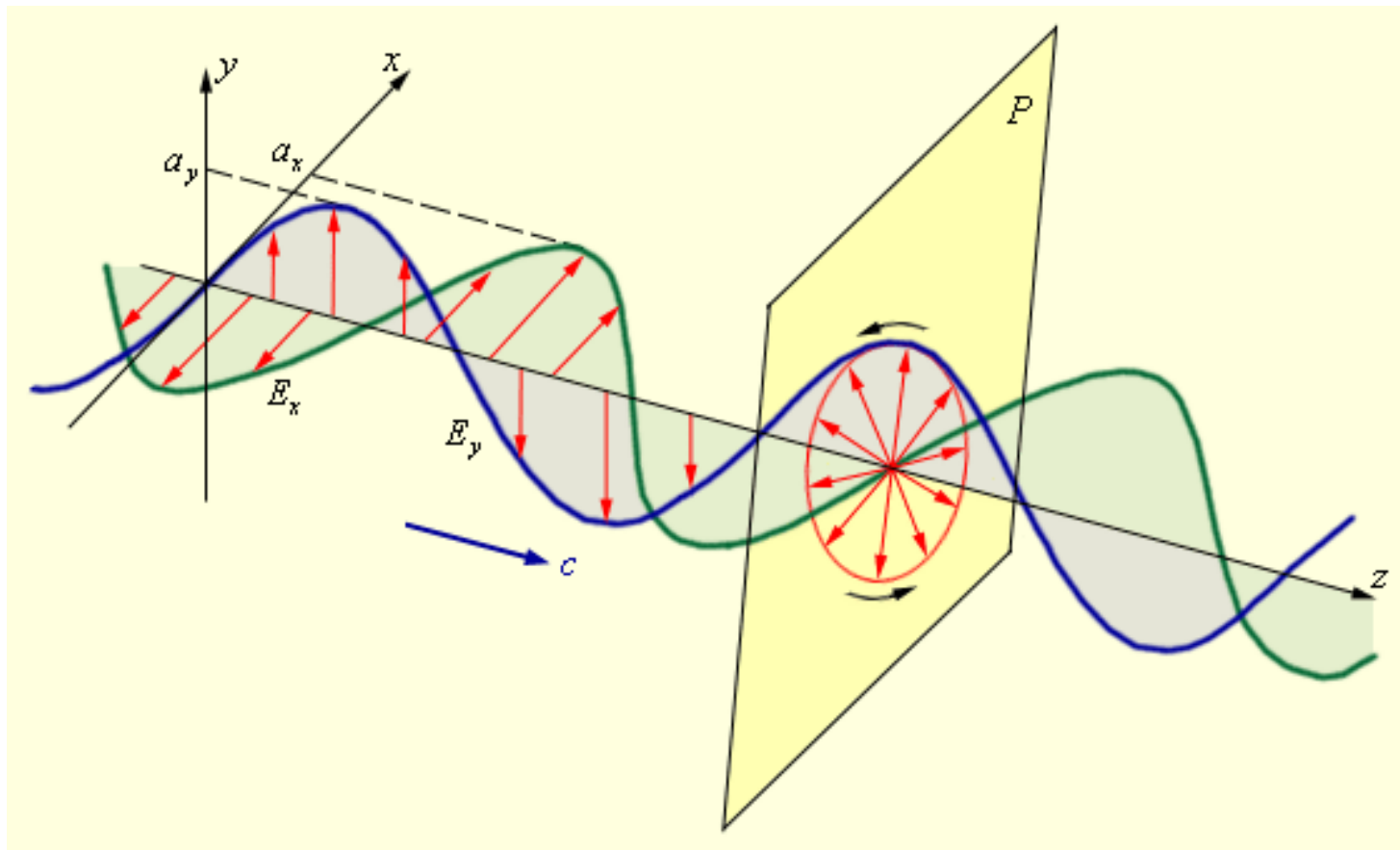


После прохождения поляризатора свет будет линейно поляризован в направлении OO' .

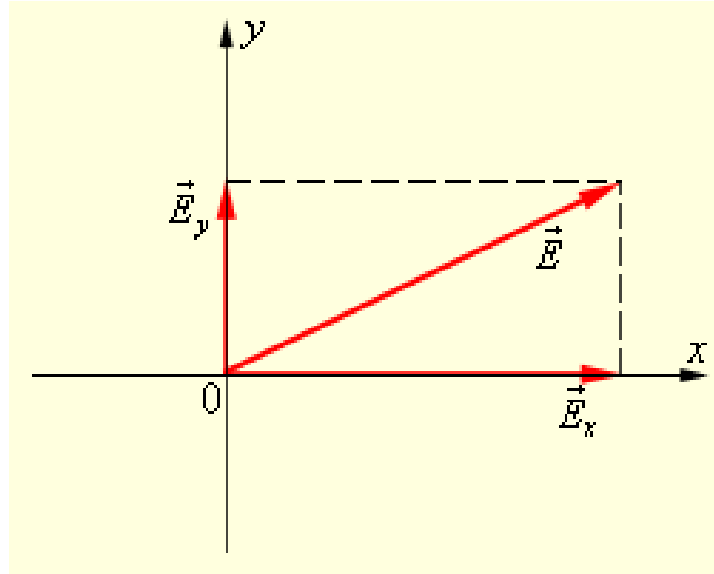
Свет с круговой поляризацией



В плоскости P наблюдается вращение вектора \mathbf{E}



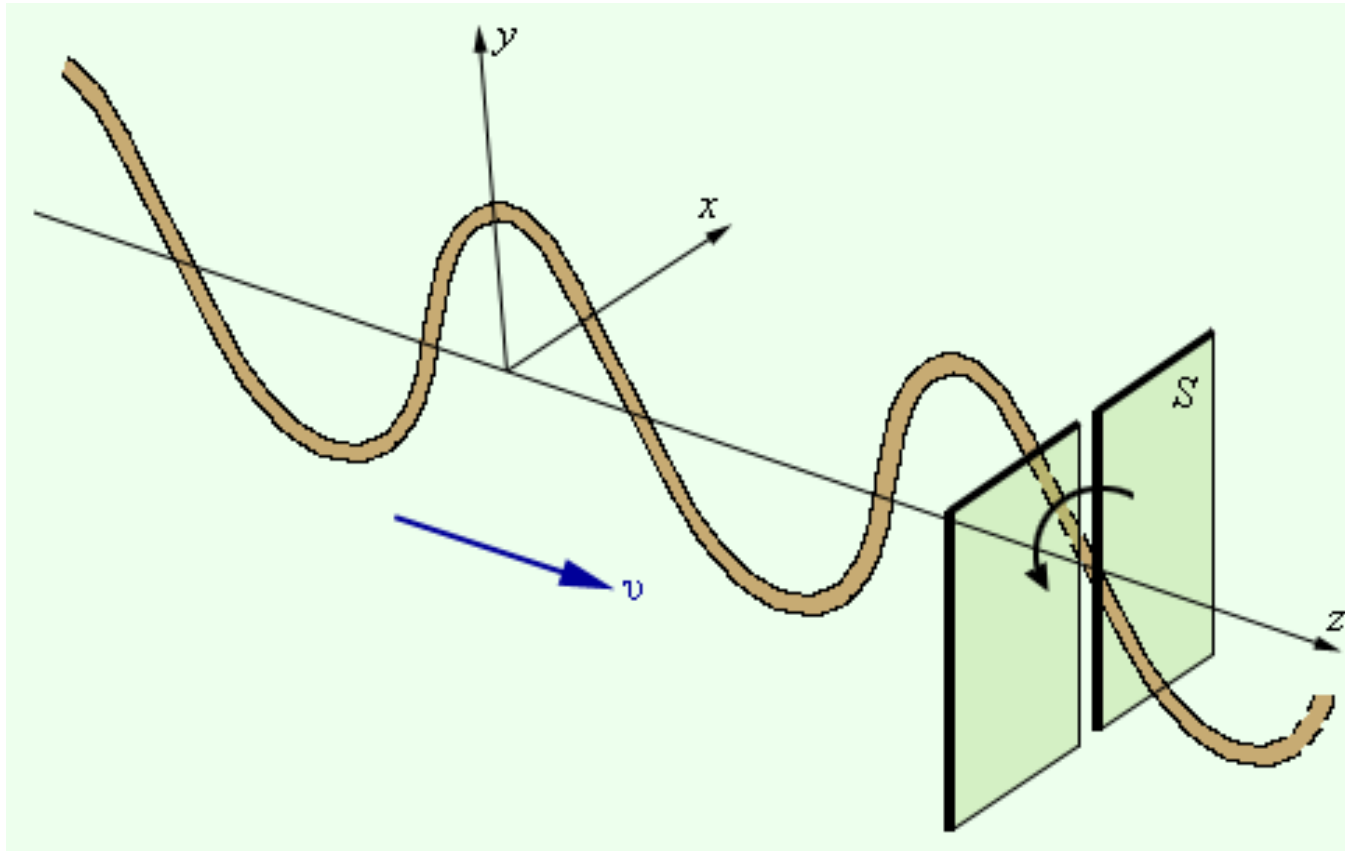
В каждый момент времени вектор \mathbf{E} может быть спроектирован на две взаимно перпендикулярные оси



Это означает, что любую волну (поляризованную и неполяризованную) можно представить как суперпозицию двух линейно поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях

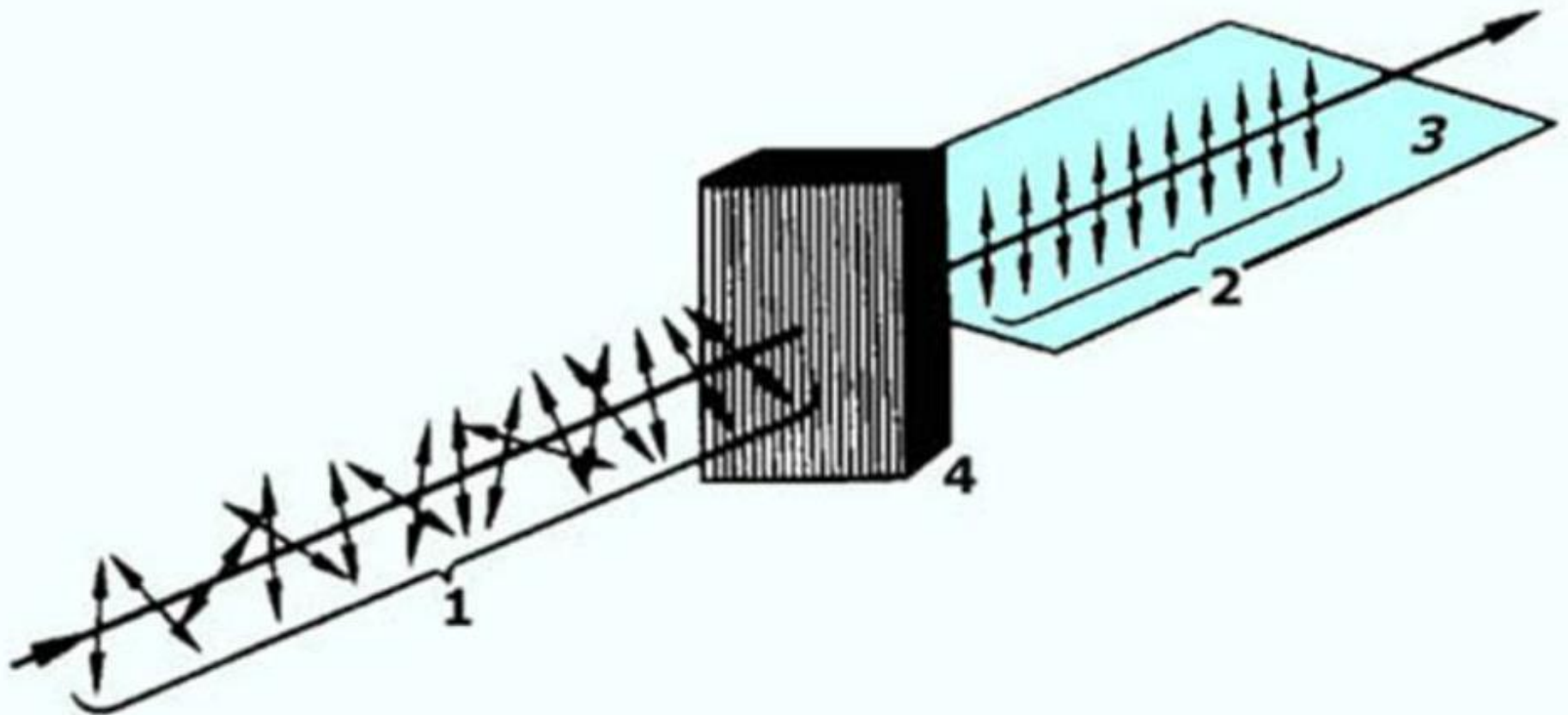
Но в поляризованной волне обе составляющие $E_x(t)$ и $E_y(t)$ когерентны, а в неполяризованной – некогерентны, т. е. в первом случае разность фаз между $E_x(t)$ и $E_y(t)$ постоянна, а во втором она является случайной функцией времени.

Механическая аналогия

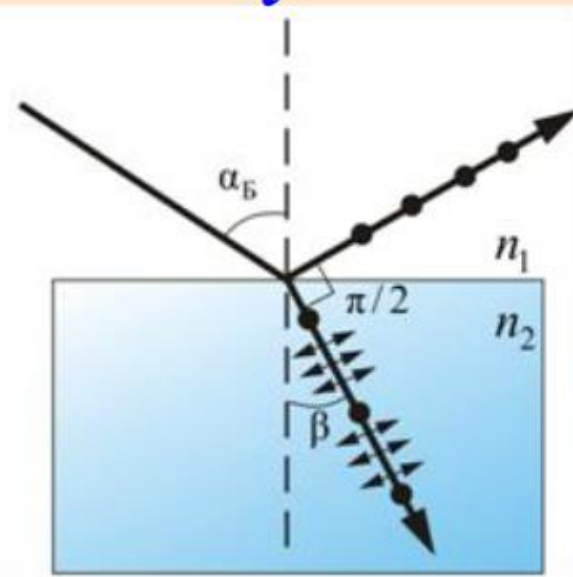
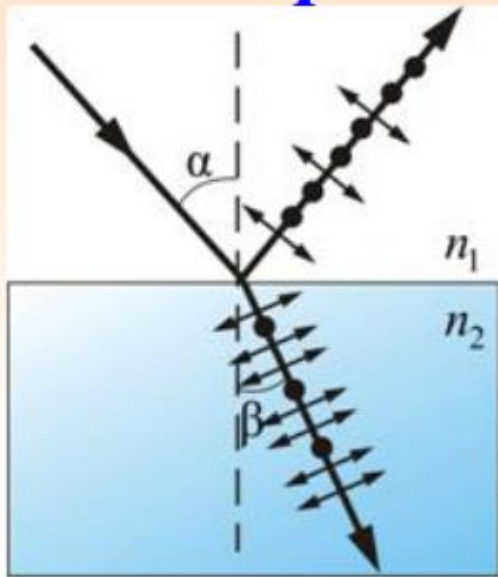


Линейные поляризаторы:

- **оптически анизотропные кристаллы** (турмалин), вырезанные параллельно его оптической оси;
- **поляроиды** — целлулоидные плёнки, в которые введено большое количество одинаково ориентированных с помощью растяжения или сдвиговой деформации кристалликов.



Степень поляризации зависит от угла падения:



Если луч падает на границу двух сред под углом α , удовлетворяющему условию $\operatorname{tg} \alpha = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1}$

то отраженный луч оказывается полностью поляризованным.

Преломленный луч — поляризован частично.

Угол α — называется *углом Брюстера* .

Формулы Френеля

$$E_x^{(i)} + E_x^{(r)} = E_x^{(t)} \quad H_x^{(i)} + H_x^{(r)} = H_x^{(t)}$$

$$E_y^{(i)} + E_y^{(r)} = E_y^{(t)} \quad H_y^{(i)} + H_y^{(r)} = H_y^{(t)} \quad - \text{ равенство тангенциальных составляющих векторов}$$

$$\cos \varepsilon_r = \cos(\pi - \varepsilon) = -\cos \varepsilon$$

$$\cos \varepsilon (A_{\parallel} - R_{\parallel}) = \cos \varepsilon' T_{\parallel}$$

$$A_{\perp} + R_{\perp} = T_{\perp}$$

$$n \cos \varepsilon (A_{\perp} - R_{\perp}) = n' \cos \varepsilon' T_{\perp}$$

$$n(A_{\parallel} + R_{\parallel}) = n' T_{\parallel}$$

A – амплитуда падающей волны;
 R – амплитуда отражённой волны;
 T – амплитуда преломлённой волны.

Решаем относительно компонент отраженной и прошедшей волн

$$\begin{cases} T_{\parallel} = \frac{2n \cos \varepsilon}{n' \cos \varepsilon + n \cos \varepsilon'} A_{\parallel} \\ T_{\perp} = \frac{2n \cos \varepsilon}{n' \cos \varepsilon' + n \cos \varepsilon} A_{\perp} \end{cases} \quad \begin{cases} R_{\parallel} = \frac{n' \cos \varepsilon - n \cos \varepsilon'}{n' \cos \varepsilon + n \cos \varepsilon'} A_{\parallel} \\ R_{\perp} = \frac{n \cos \varepsilon - n' \cos \varepsilon'}{n \cos \varepsilon + n' \cos \varepsilon'} A_{\perp} \end{cases}$$

Исключаем показатели преломления

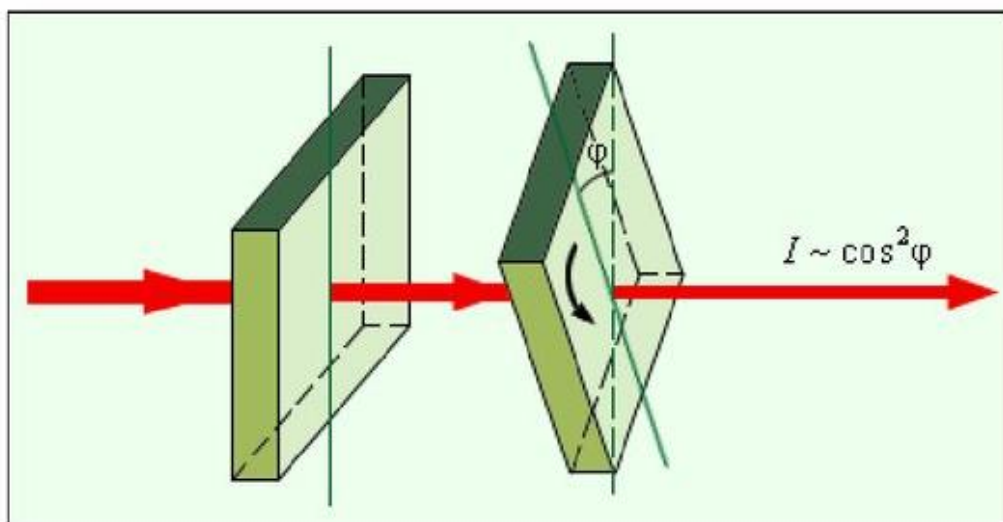
$$\begin{cases} T_{\parallel} = \frac{2 \sin \varepsilon' \cos \varepsilon}{\sin(\varepsilon + \varepsilon') \cos(\varepsilon - \varepsilon')} A_{\parallel} \\ T_{\perp} = \frac{2 \sin \varepsilon' \cos \varepsilon}{\sin(\varepsilon + \varepsilon')} A_{\perp} \end{cases} \quad \begin{cases} R_{\parallel} = \frac{\operatorname{tg}(\varepsilon - \varepsilon')}{\operatorname{tg}(\varepsilon + \varepsilon')} A_{\parallel} \\ R_{\perp} = \frac{\sin(\varepsilon - \varepsilon')}{\sin(\varepsilon + \varepsilon')} A_{\perp} \end{cases}$$

Закон Малюса

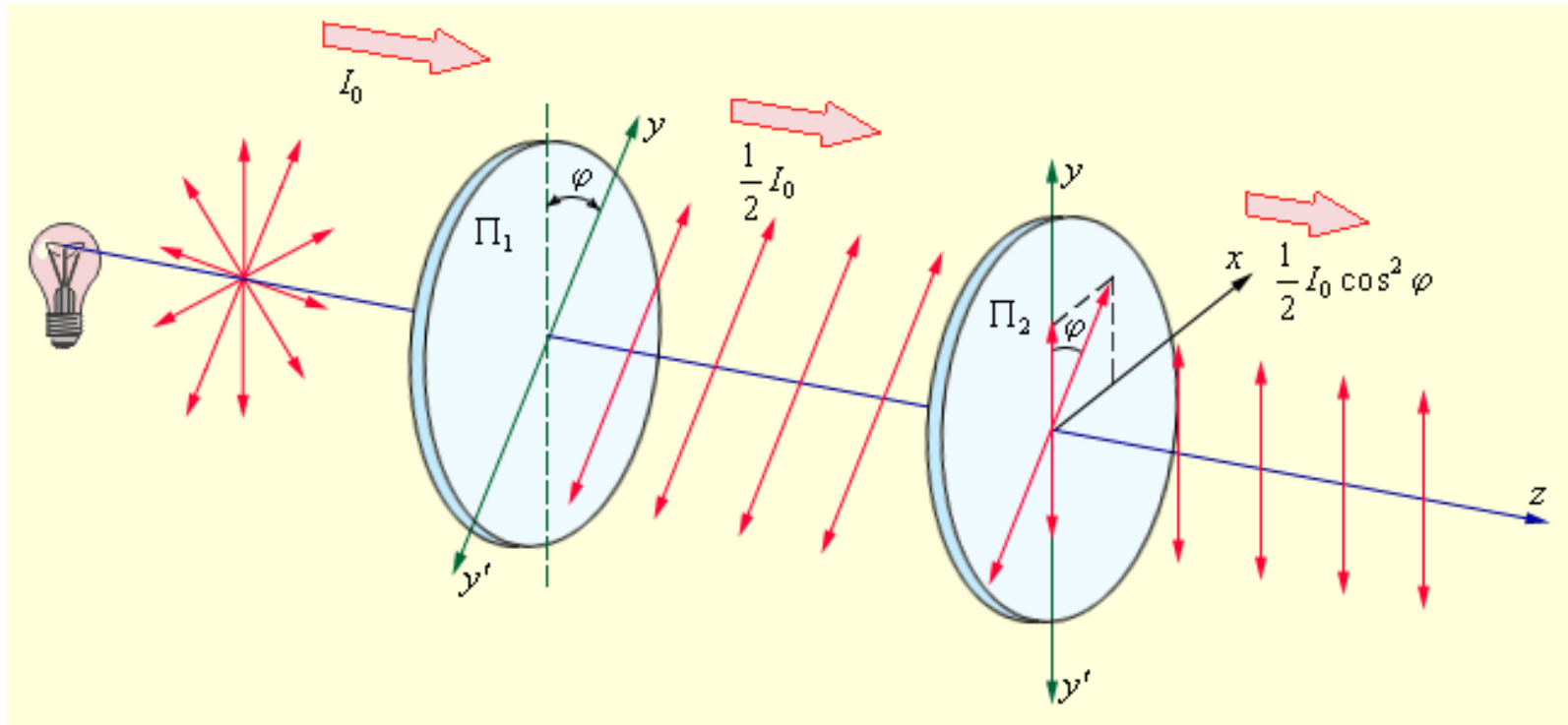
Интенсивность света, прошедшего последовательно через поляризатор и анализатор, пропорциональна квадрату косинуса угла между их главными плоскостями.

[I_0 — интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; I — интенсивность света, вышедшего из анализатора]

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$



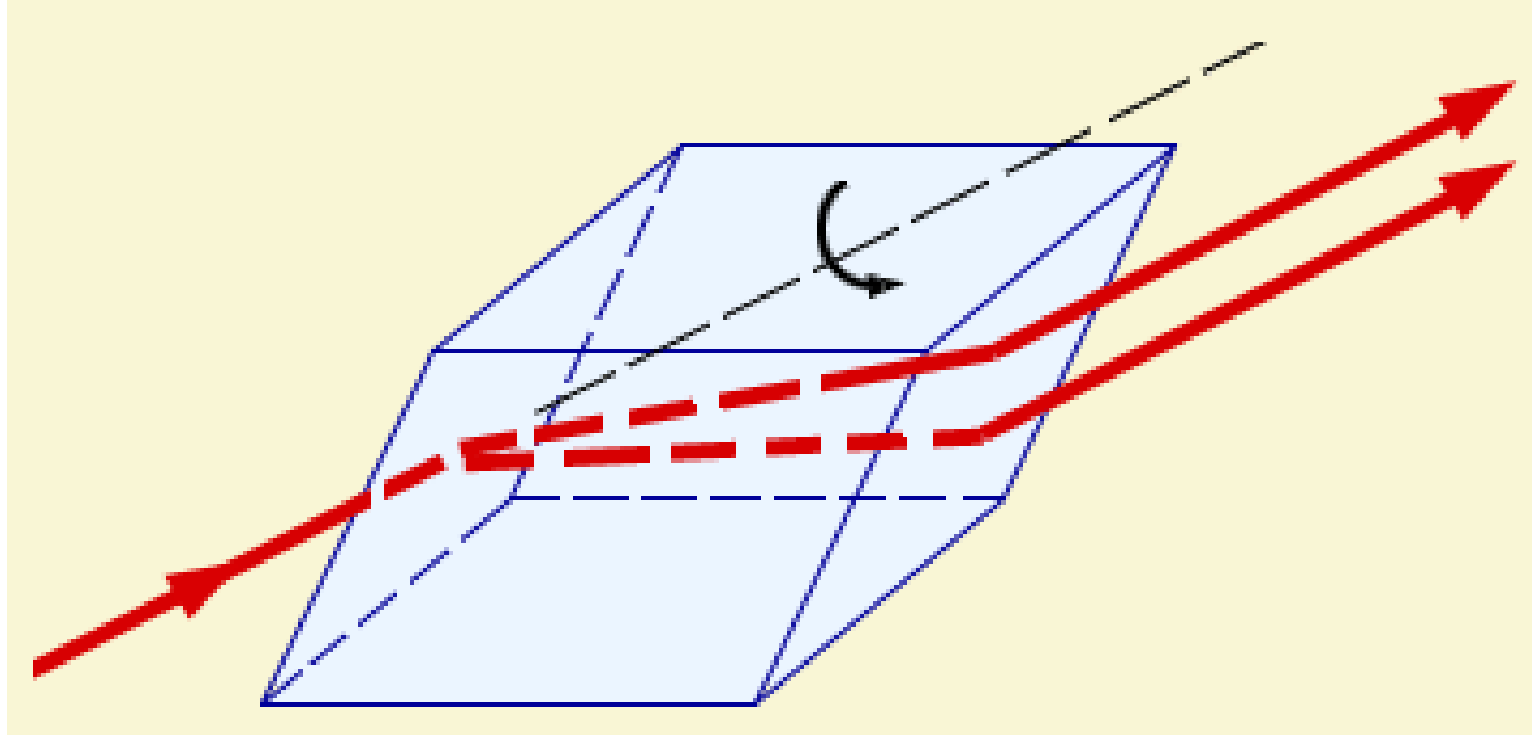
Прохождение естественного света через два идеальных поляроида. yy' – разрешенные направления поляроидов



$$I = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \varphi$$

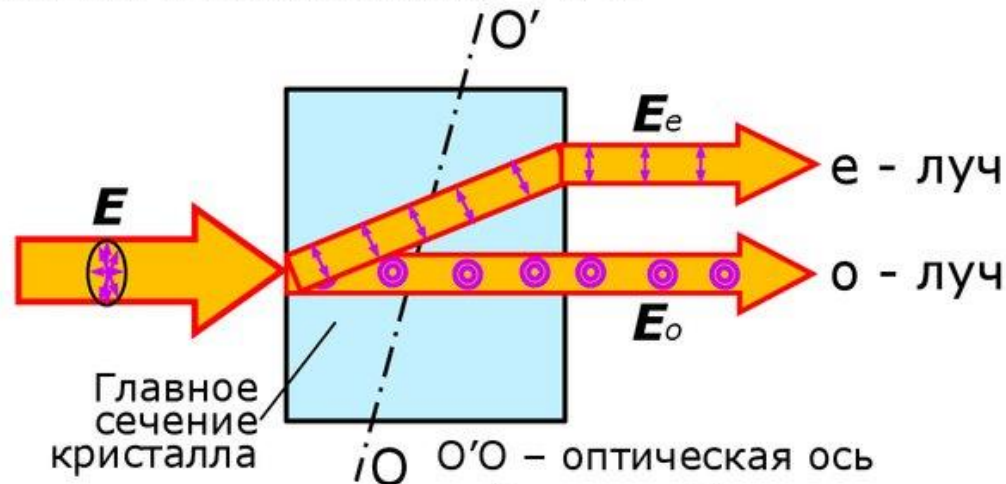
Новый материал лекций

Двойное лучепреломление в кристаллах



Двойное лучепреломление. Поляризация света при двойном лучепреломлении

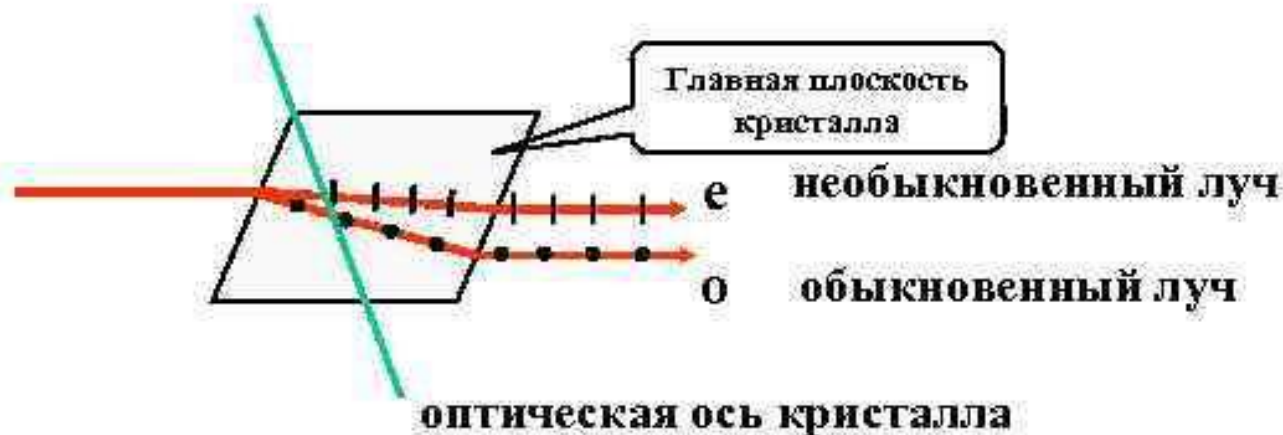
- У *одноосных кристаллов* один из преломленных лучей подчиняется обычному закону преломления ($\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$), лежит в одной плоскости с падающим **лучом** и нормалью к поверхности и его называют **обыкновенным** и обозначают «о».



Другой **луч**, называемый **необыкновенным** не подчиняется обычному закону преломления, и даже при нормальном падении света на кристалл необыкновенный луч «е» может отклоняться от нормали, и, как правило, е-луч не лежит в плоскости падения.

Явление **двойного лучепреломления** света объясняется тем, что во многих кристаллических веществах показатели преломления волн, линейно поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях, различны. Поэтому кристалл раздваивает проходящие через него лучи. Два луча на выходе кристалла линейно поляризованы во взаимно перпендикулярных направлениях. Кристаллы, в которых происходит двойное лучепреломление, называются **анизотропными**.

Двойное лучепреломление в анизотропных кристаллах



$$n = \frac{c}{V}$$

$$n = \sqrt{\varepsilon}$$

В анизотропных кристаллах диэлектрическая проницаемость зависит от **направления** колебаний вектора **напряженности** электрического поля.

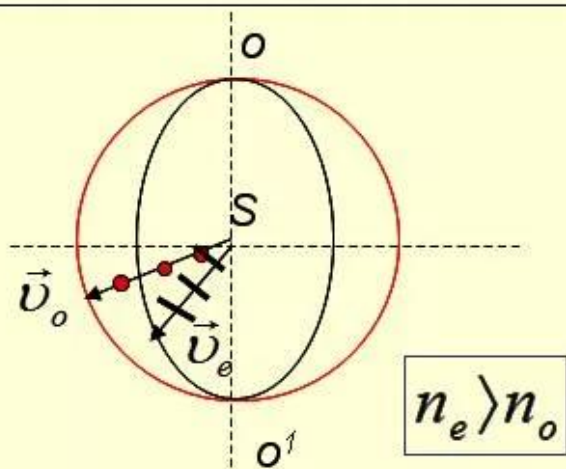
В **обыкновенном** луче вектор напряженности колеблется **перпендикулярно** главной **плоскости** кристалла.

В **необыкновенном** луче вектор напряженности колеблется **в** главной **плоскости** кристалла.

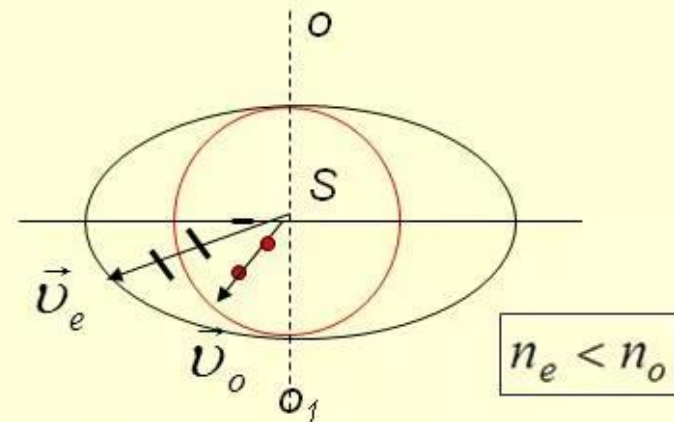
Двойное лучепреломление

Направление в оптически анизотропном кристалле, по которому луч света не испытывает двойного лучепреломления, называется **оптической осью кристалла**.

Неодинаковое преломление обыкновенного и необыкновенного лучей указывает на различие для них показателей преломления



Положительный кристалл

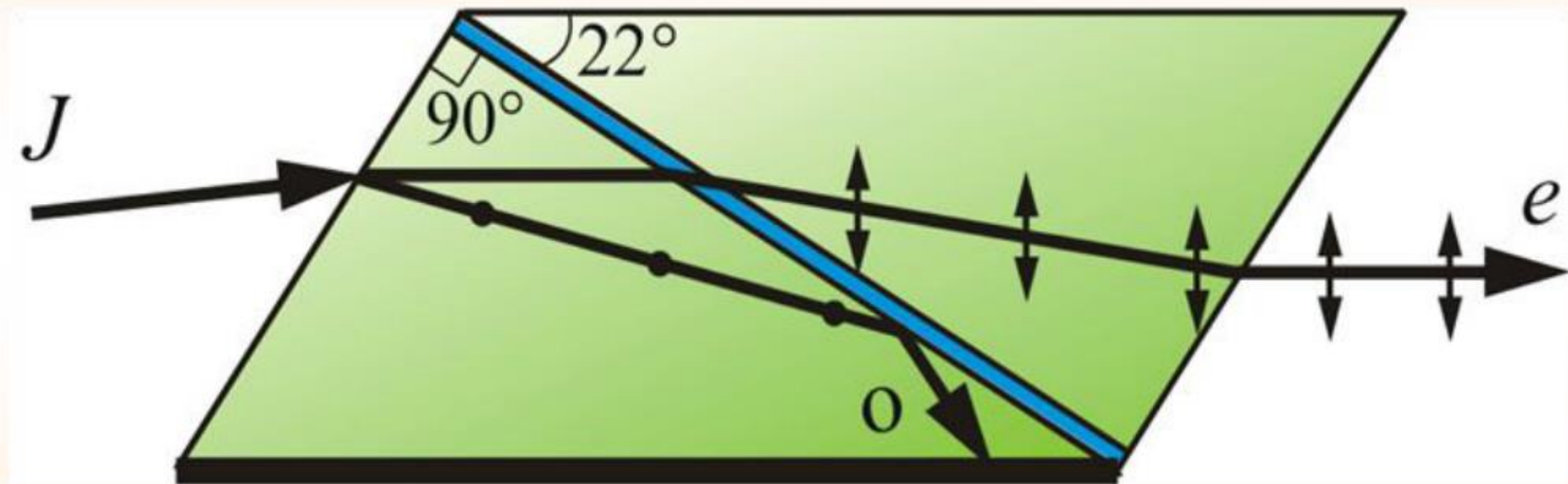


Отрицательный кристалл

Дихроизм — один из лучей поглощается сильнее другого

Это явление используется для создания поляроидов. На выходе поляроида получается один поляризованный луч.

В качестве поляроида используется **призма Николя (николь)**. Это призма из **исландского шпата**, разрезанная по диагонали и склеенная **канадским бальзамом**



Показатель преломления канадского бальзама

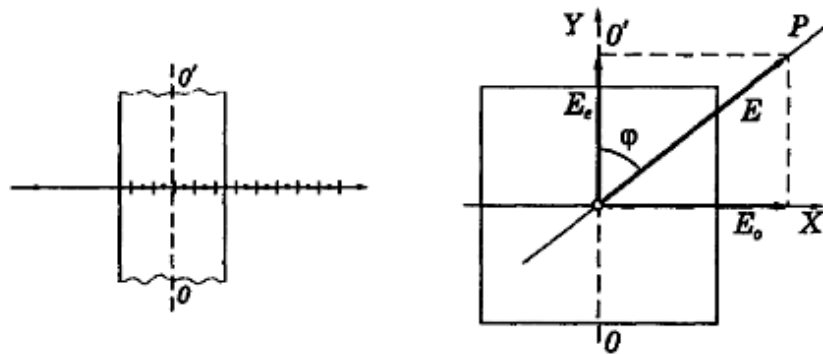
$$n_o > n > n_e$$

1. Пластика в четверть волны (короче $\lambda/4$) — это пластика, толщина h которой удовлетворяет условию

$$h|n_o - n_e| = m \frac{\lambda}{4}, \quad \text{где } m = 1, 3, 5, \dots,$$

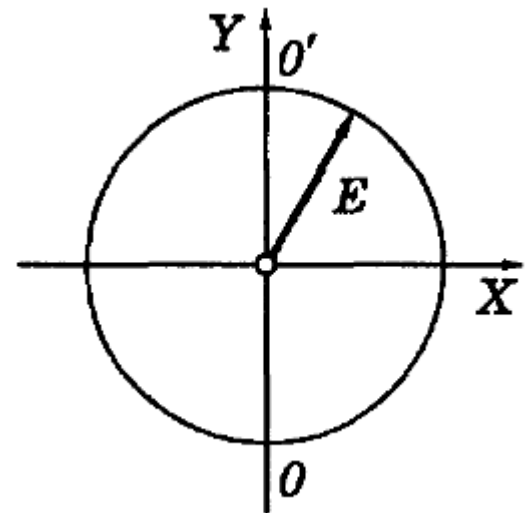
т. е. при *нечетных* значениях m . Эта пластика создает

дополнительную разность фаз $\delta = \pi/2$ (точнее, $m\pi/2$, m — нечетное) между проходящими через нее обыкновенной и необыкновенной волнами, поляризованными во взаимно перпендикулярных плоскостях. Эти плоскости определяют в пластинке два направления, называемые *главными направлениями пластинки*: одна параллельна оптической оси, другая — перпендикулярна ей.



Если линейно поляризованный свет падает на пластинку так, что угол между его плоскостью поляризации P и оптической осью пластинки $\varphi = 45^\circ$ (см. рис), то амплитуды обыкновенной и необыкновенной волн будут одинаковы, и на выходе из пластинки мы получим *круго-поляризованный* свет — эллипс вырождается в окружность

Направления вращения вектора E чередуются: если, например, при $m = 1$ по часовой стрелке, то при $m = 3$ против и т. д.



2. Пластика в полволны (короче $\lambda/2$). Ее толщина h удовлетворяет условию

$$h|n_o - n_e| = m \frac{\lambda}{2}, \quad \text{где } m = 1, 3, 5, \dots,$$

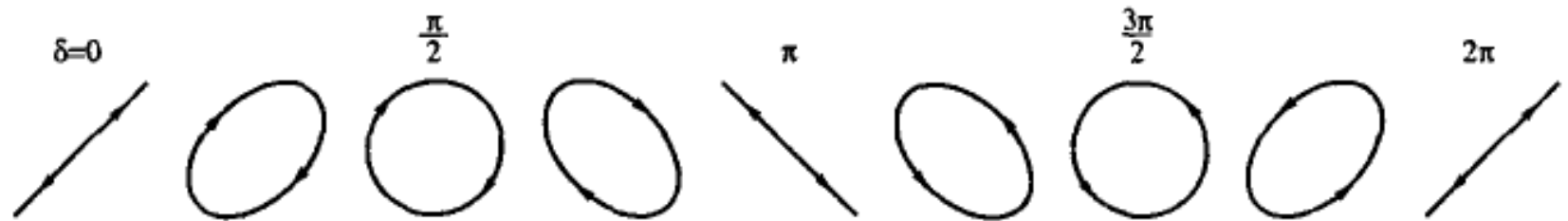
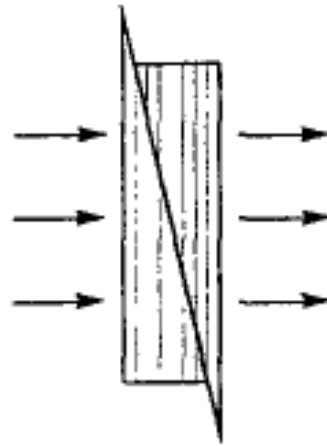
т. е. тоже при *нечетных* значениях m . На выходе из такой пластинки между обыкновенной и необыкновенной волнами возникает

дополнительная разность фаз $\delta = \pi$ (точнее $m\pi$, m — нечетное). Это значит, что свет, вышедший из пластинки, остается линейно-поляризованным, однако направление колебаний вектора E (плоскость поляризации) повернется на угол 2φ симметрично главному сечению пластинки

При $\varphi = 45^\circ$ такая пластинка «поворачивает» плоскость поляризации на 90° , т. е. плоскость поляризации прошедшего через пластинку света будет ортогональна плоскости поляризации падающего света. Необходимость такого «поворота» нередко встречается в экспериментальных установках.

Пластика в целую длину волны ($d=2m\lambda$) не вносит ничего. 25

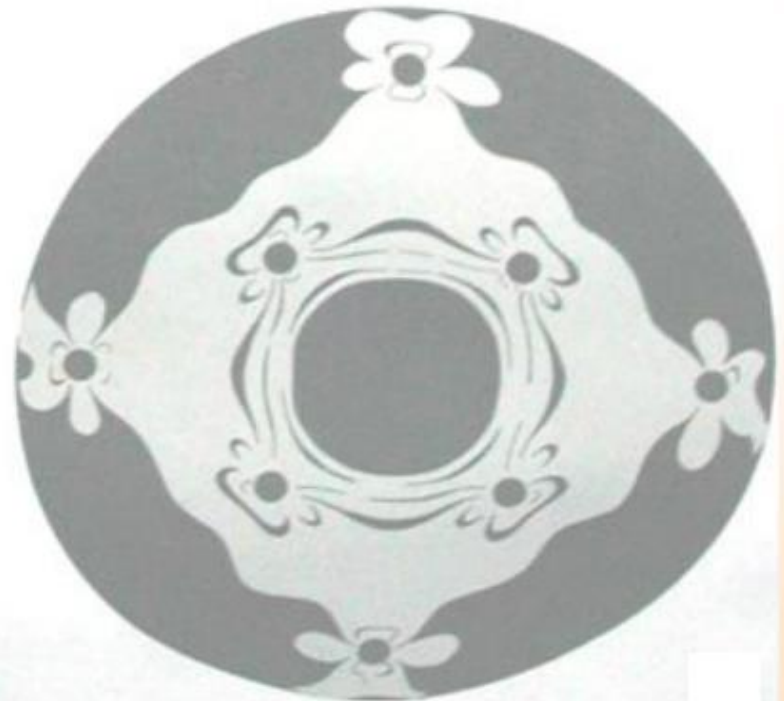
3. Компенсатор. Для анализа поляризованного света наряду с пластинкой $\lambda/4$ используют устройства, позволяющие скомпенсировать до нуля (или дополнить до π) любую разность фаз между двумя взаимно ортогональными колебаниями. Это так называемые *компенсаторы*.



Двойное лучепреломление можно наблюдать в изотропных средах (аморфных телах), если *подвергнуть их механическим нагрузкам.*

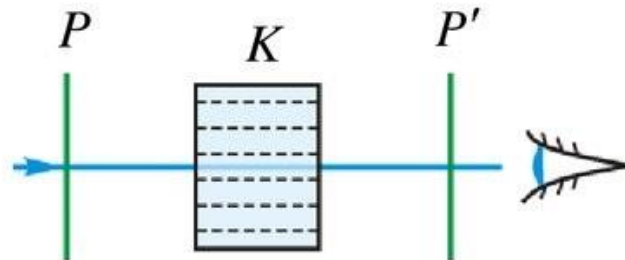
Явление, открытое в 1818 г. Брюстером, получило название *фотоупругости* или **пьезооптического эффекта.**

Помещая прозрачные фотоупругие модели между поляризатором и анализатором и подвергая их различным нагрузкам, *можно изучать распределения возникающих внутренних напряжений.*

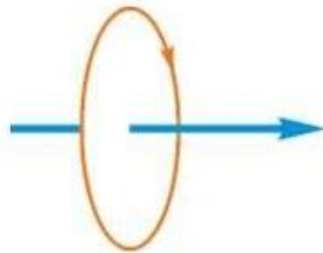


Вращение плоскости поляризации

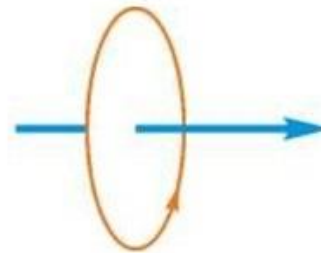
Некоторые вещества (кварц, сахар), называемые *оптически активными*, обладают способностью вращать плоскость поляризации линейно-поляризованного света.



Эти вещества подразделяются на *право-* и *лево-вращающие* (направление вращения не зависит от направления луча)



правовращающие



лево-вращающие

В кристаллах:

(сильнее всего вращают плоскость поляризации, если луч распространяется вдоль оптической оси).

$$\varphi = \alpha l$$

φ – угол поворота;

l – расстояние, пройденное лучом в кристалле;

α – **постоянная вращения** (зависит от длины волны).

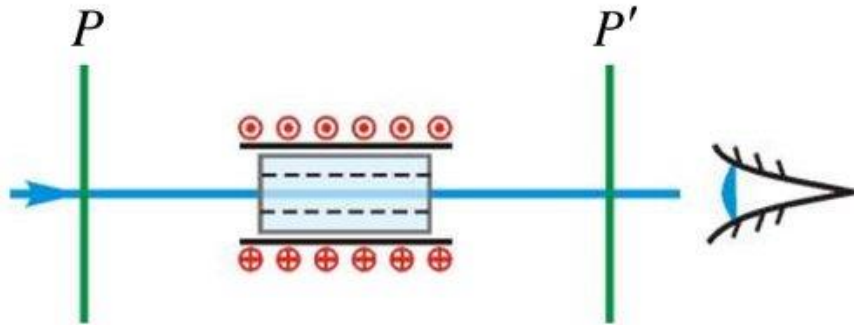
В растворах:

$$\varphi = [\alpha] c l$$

c – концентрация активного вещества;

$[\alpha]$ – **удельная постоянная вращения**.

Магнитное вращение (эффект Фарадея)



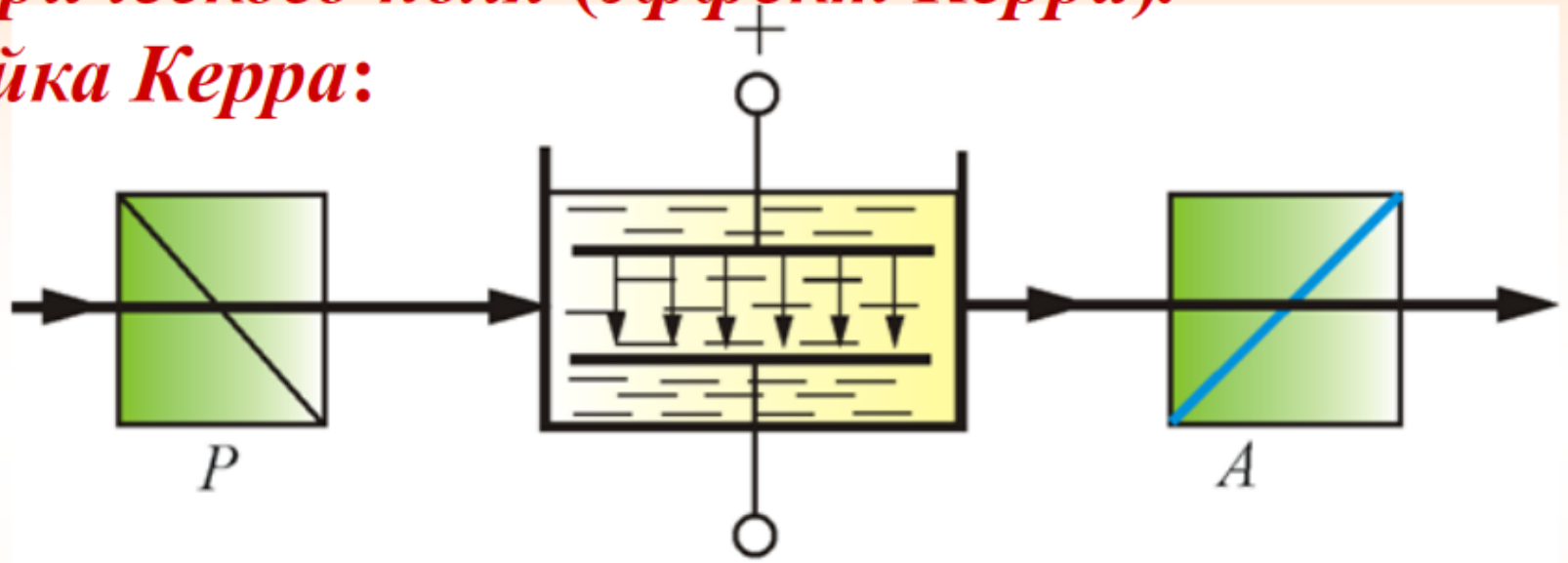
Оптически неактивные вещества приобретают способность вращать плоскость поляризации под действием магнитного поля (направление вращения определяется направлением магнитного поля)

$$\Delta\varphi = V l H$$

V – постоянная Верде, l – длина пути,
 H – напряженность магнитного поля

Явление искусственной анизотропии может возникать в изотропных средах *под воздействием электрического поля (эффект Керра).*

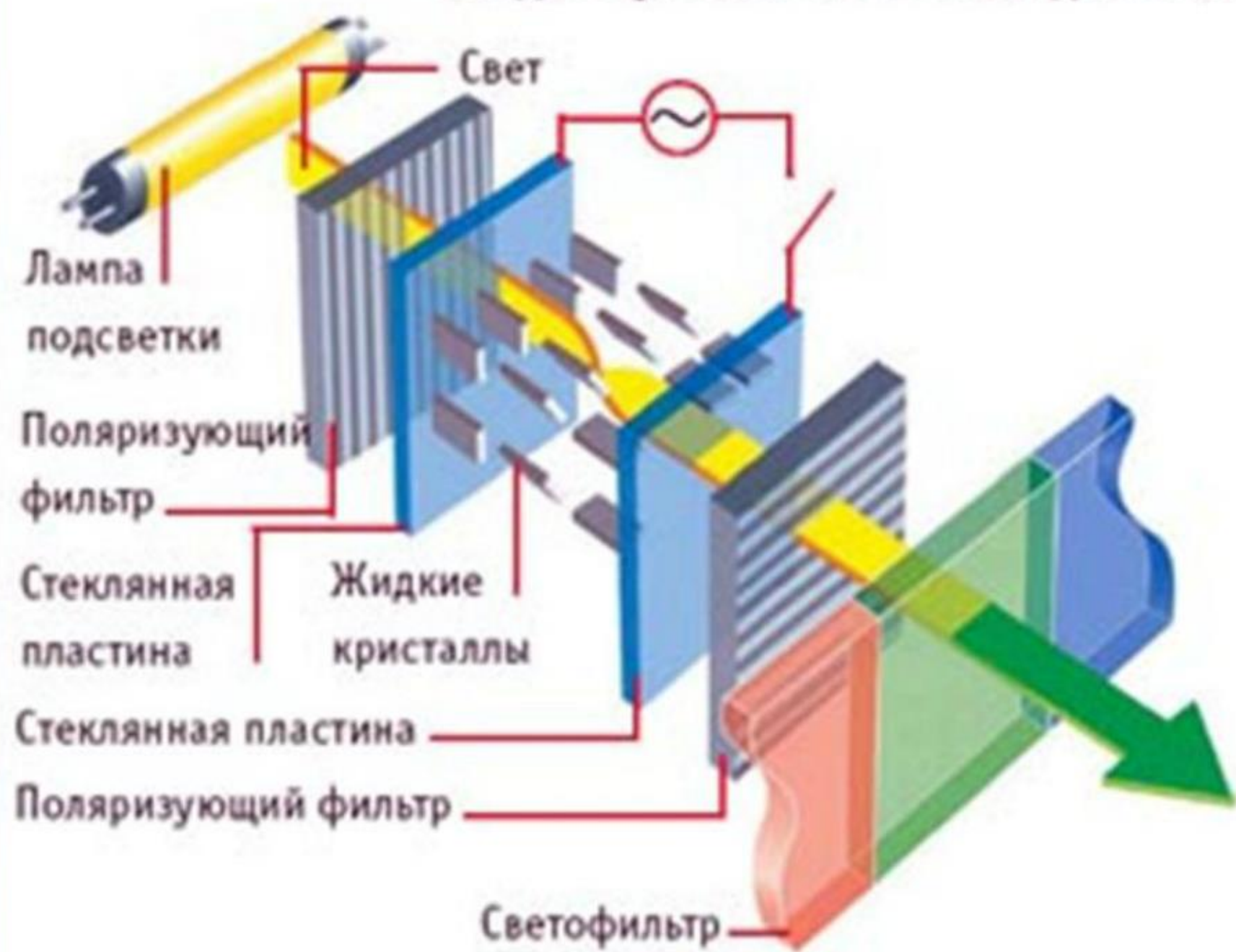
Ячейка Керра:



Свет, прошедший через кювету, поворачивает плоскость поляризации, и система становится прозрачной.

Ячейка Керра может служить затвором света, который управляется потенциалом одного из электродов конденсатора, помещенного в ячейку.

Жидкокристаллический дисплей



Голография

hō'lo | gram *n.*

HOLOS – полный
GRAPH - записывать

Записывается амплитуда и фаза
волнового фронта (3D)



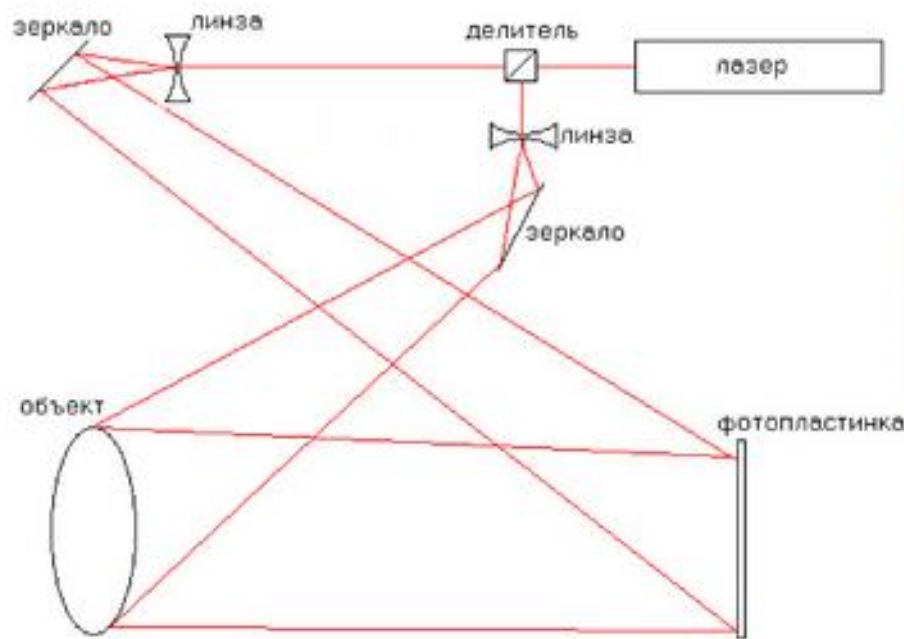
Обычная фотографическая пленка реагирует только на
интенсивность.

Как записать фазу?

Использовать интерференцию!!! (Д. Габор 1947)



Деннис Габор
Нобелевская премия 1971



ГОЛОГРАФИЯ

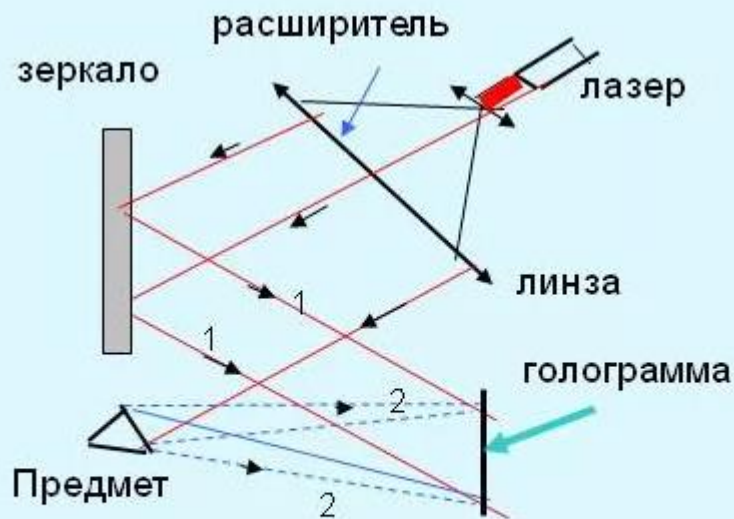
Голографией называют способ записи и последующего восстановления структуры световых волн, основанный на явлениях дифракции и интерференции когерентных световых пучков. В отличие от обычной фотографии, голография — это принципиально новый метод получения объемных изображений предметов.

В этом методе регистрируется не оптическое изображение предмета, а *интерференционная картина*, возникающая при наложении световой волны, рассеянной предметом, и когерентной с ней *опорной* волны. Эта интерференционная картина фиксирует информацию о распределении не только амплитуд, но и фаз в *предметной* волне. Таким способом можно получить и зарегистрировать на фотопластинке значительно более полную информацию об объекте, нежели путем обычного фотографирования.

Принципы голографии

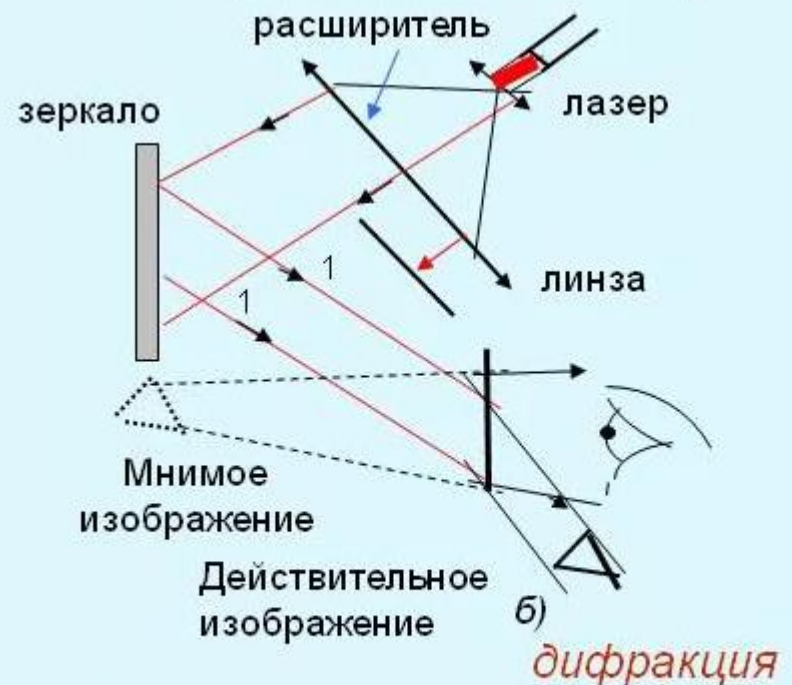
Осуществление идеи Габора стало возможным только после появления в 1960 г. источников света высокой степени когерентности – лазеров.

Запись



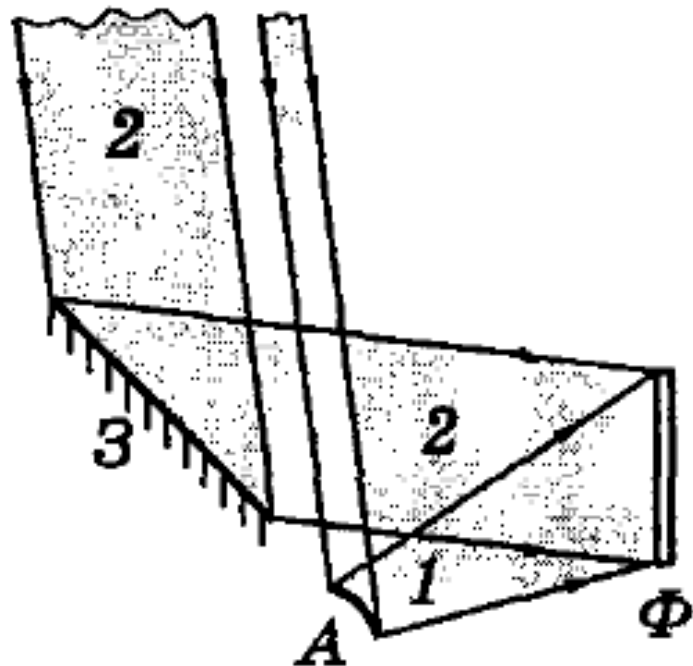
интерференция

Восстановление

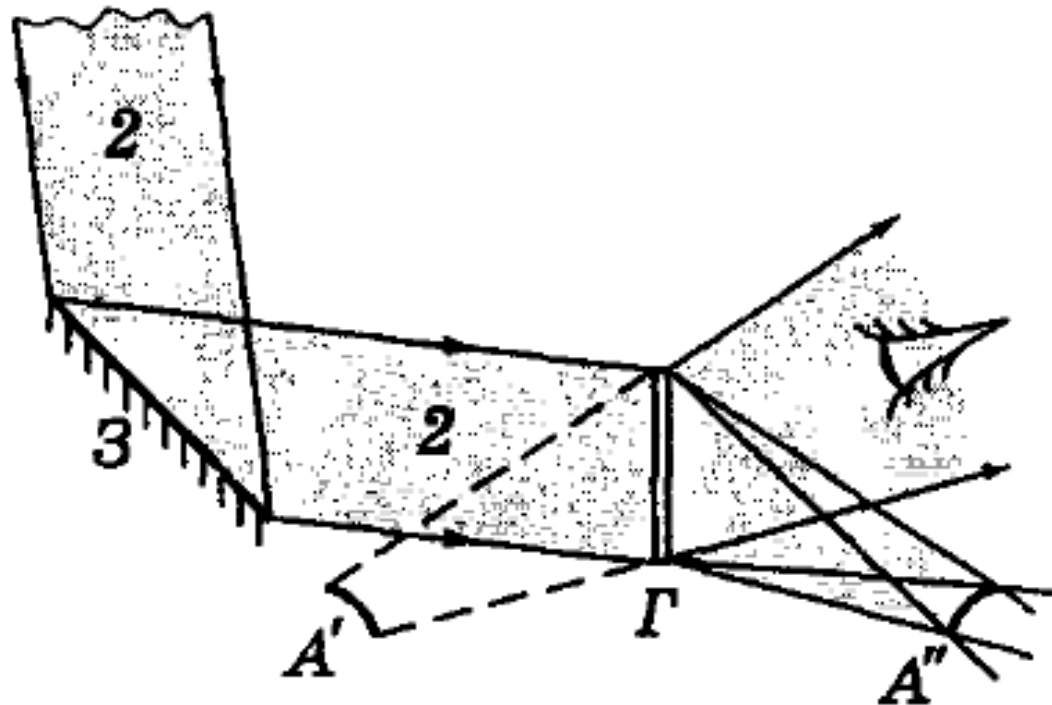


дифракция

Запись и восстановление голограммы



a)



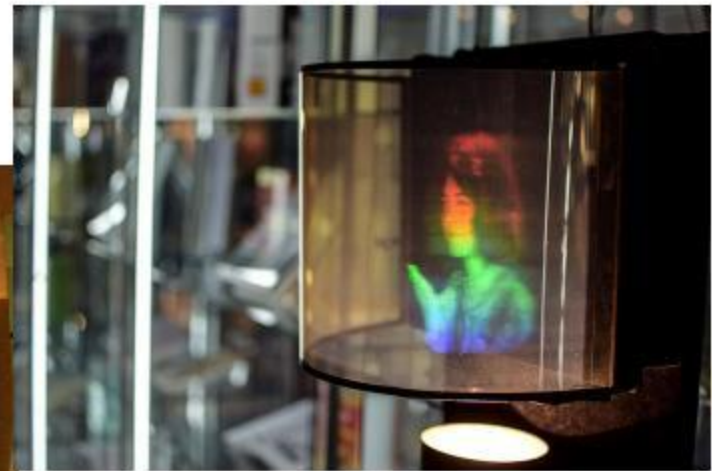
б)

1 – предметная волна.
2 – опорная волна.

Любая часть голограммы восстанавливает всё изображение в целом.

Области применения голографии

- ❑ Художественная голография:
- ❑ Голограммы произведений искусства и музейных экспонатов
- ❑ Макет архитектурного сооружения
- ❑ Портреты
- ❑ Синтезированный сюжет



Области применения голографии

Защитная голография:

- **Маркировка**

- самоклеящиеся голографические этикетки
- комбинированные этикетки
(полиграфия + голографический элемент)

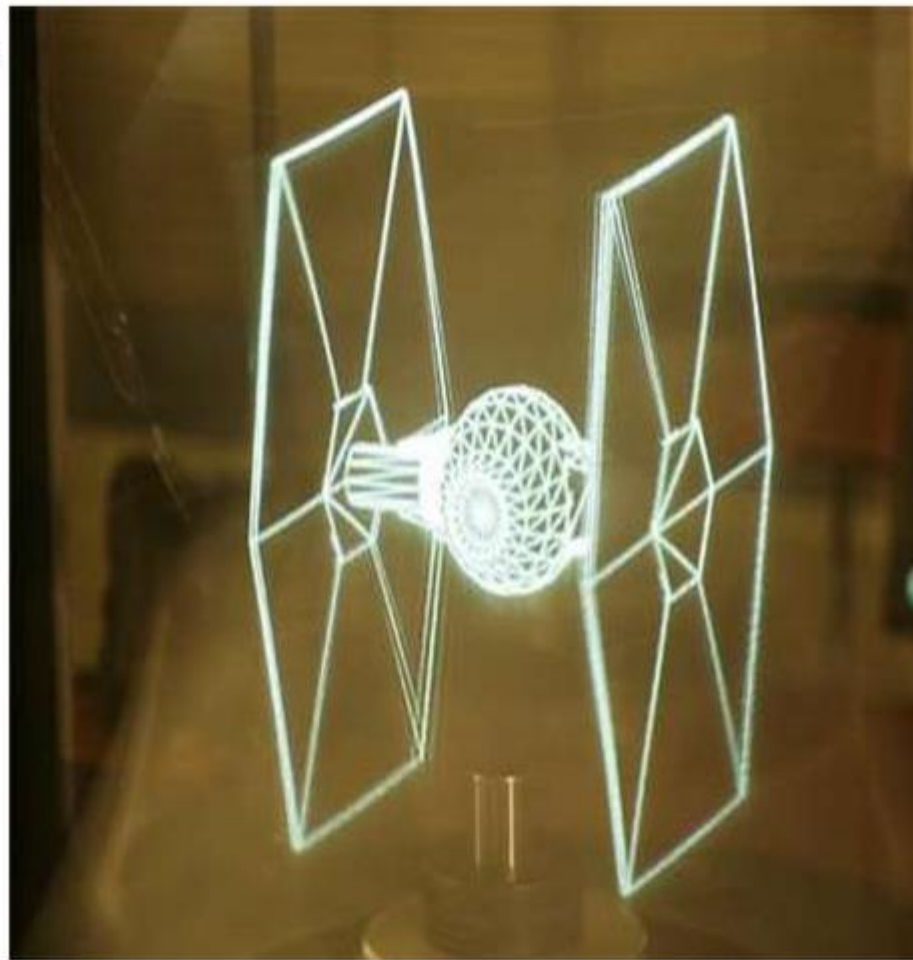
Голограммы применяются для маркировки:

- ✓ Аудио/видео кассеты и CD
- ✓ Автозапчасти и автохимия
- ✓ Парфюмерно-косметические товары
- ✓ Алкогольные и безалкогольные напитки
- ✓ Фармацевтическая продукция
- ✓ Продукты питания



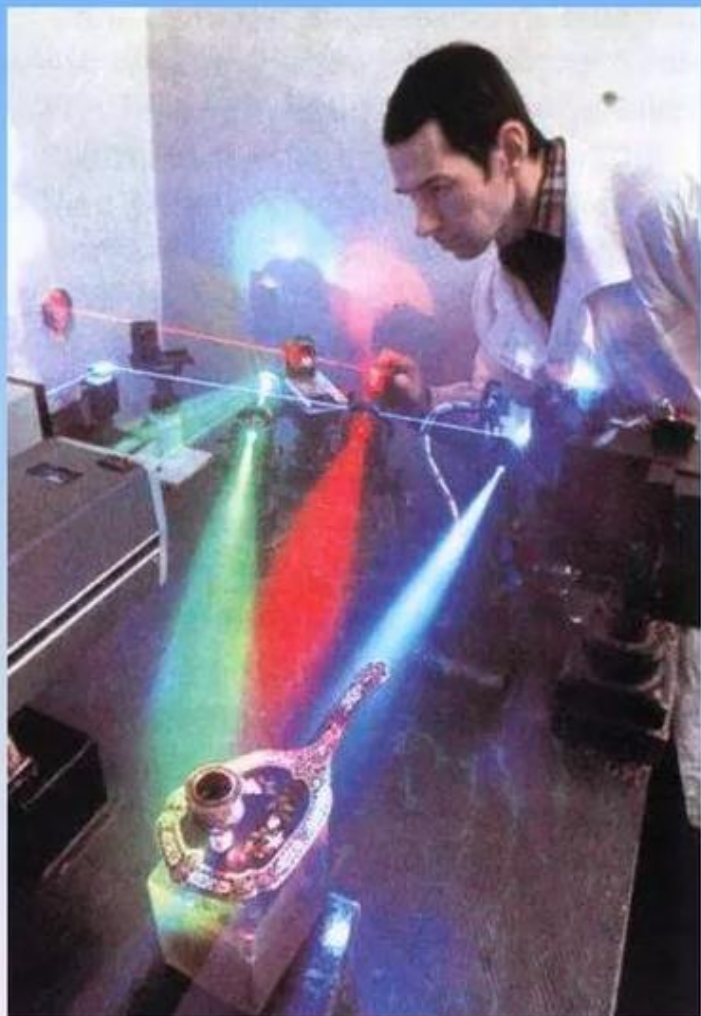
3D голограмма

Трехмерная голограмма — это объемное изображение реального объекта. Для записи 3D голограммы необходим реальный объект или его модель в масштабе 1:1. Такие голограммы полностью передают красочность и трехмерность объектов.



Применение лазеров

в голографии



Чтобы сделать цветную голограмму, на вид не отличимую от реального предмета, необходимы три лазера с излучением разного цвета.

Голографическая память

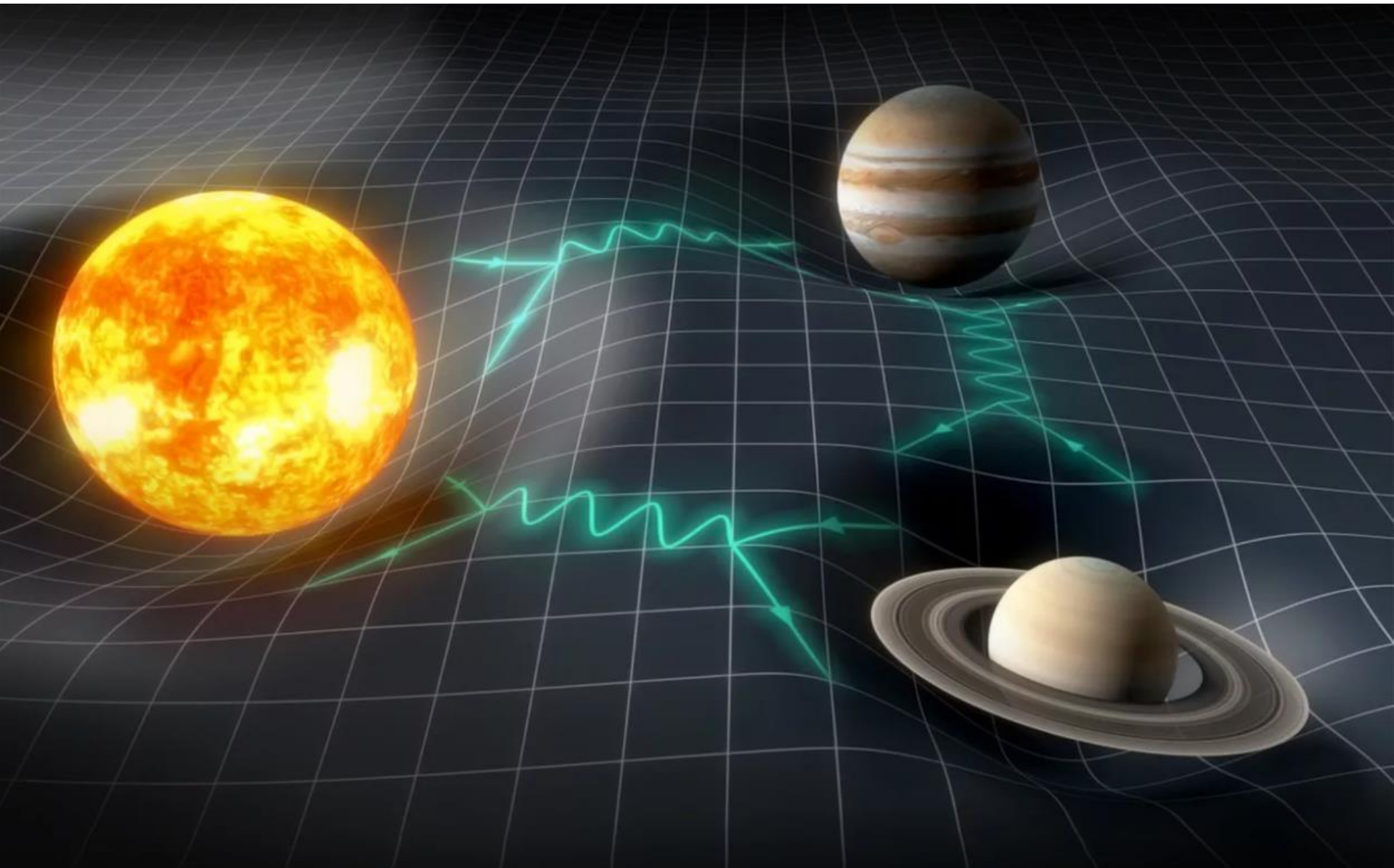
Уже разработано несколько схем голографической памяти. В их основу положена фотопластинка, на которой записан ряд голограмм, восстанавливаемых лучом лазера.

1 кв. см - 100 млн. бит

Пластинка брома $2,5 \times 2,5 \times 0,2$ см – 300 тыс. изображений







Органичность голографического принципа – часть содержит целое.

В устройстве Природы, общества и мышления тоже соблюдается органический принцип строения:

каждая часть содержит в себе, в том или ином виде, все целое. Причём целое первее частей.

ПРИМЕРЫ: Слово как понятие. Клетка живого. Цена товара.

Возможно, что такое гравитация - мы узнаем и поймём лишь тогда, когда поймём и осознаем принцип органического строения.

ОКОНЧАНИЕ ЛЕКЦИЙ ВТОРОГО СЕМЕСТРА ПО ФИЗИКЕ

ВСЕМ УСПЕШНОЙ СДАЧИ
ЭКЗАМЕНА!