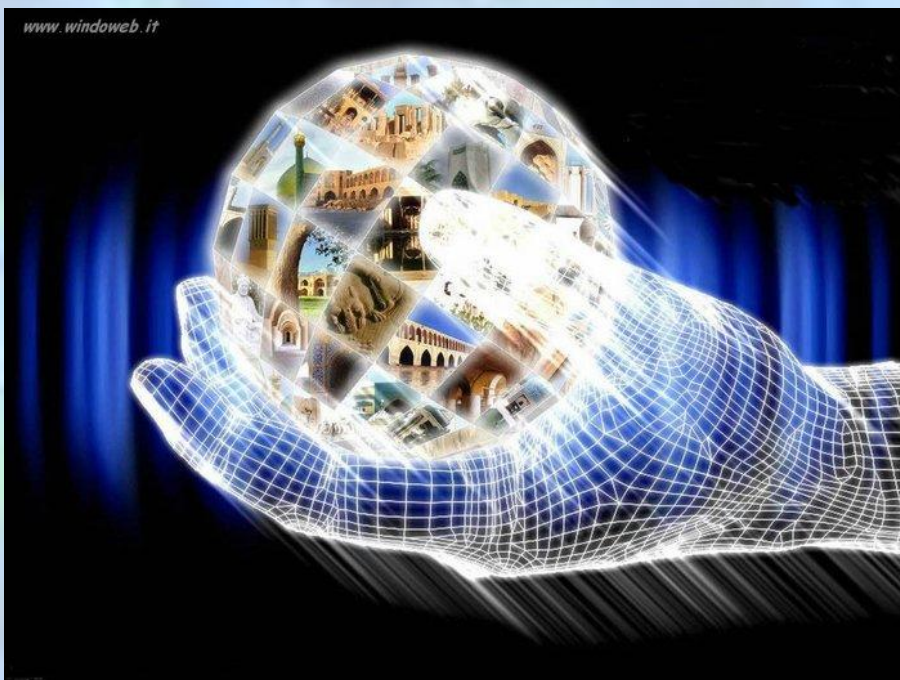




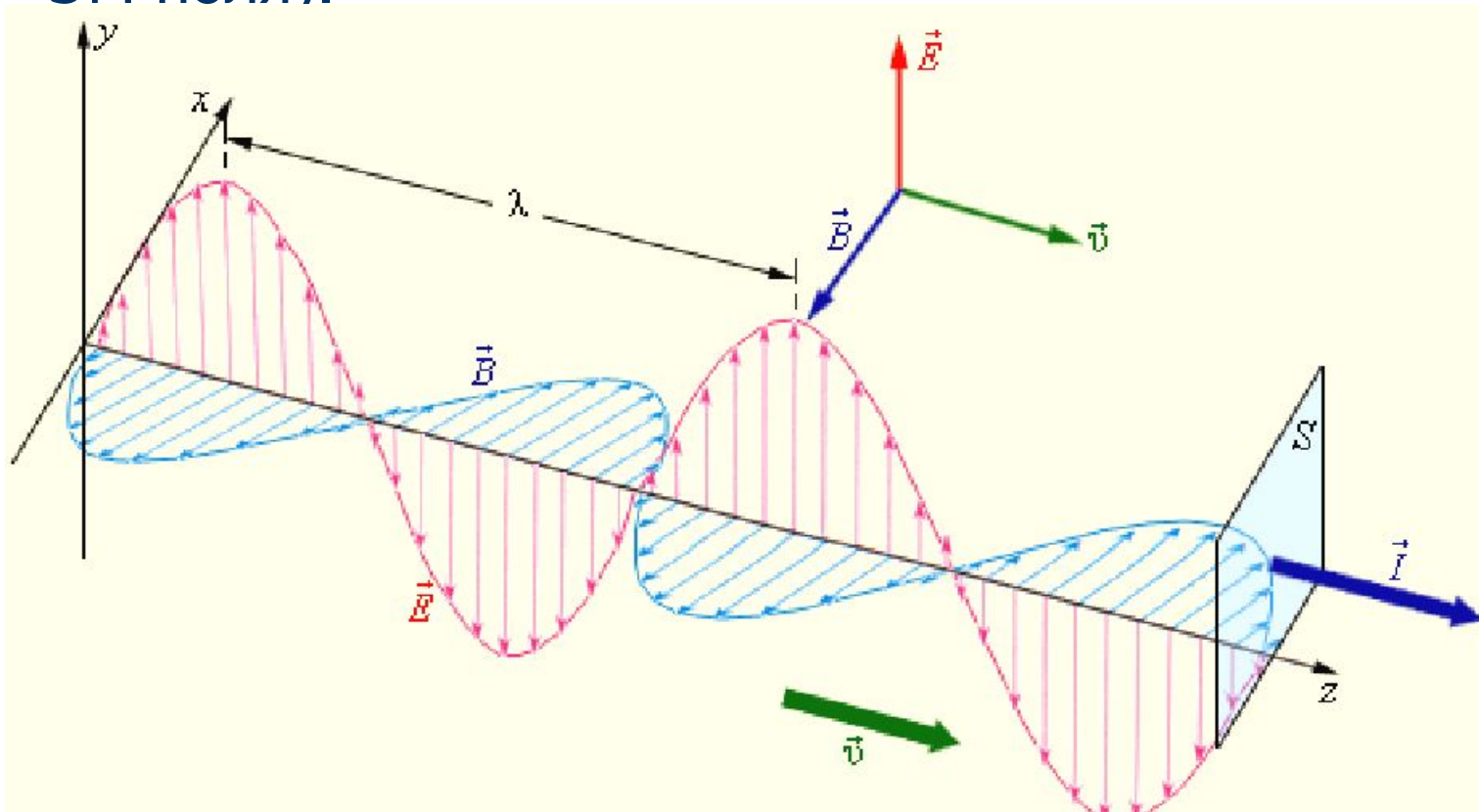
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Курс лекций

Вспомним:

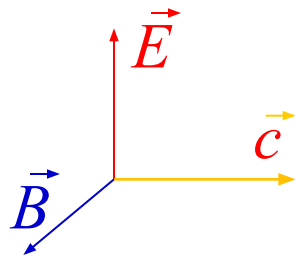
Электро-магнитная волна, поляризация ЭМВ.

- распространяющееся в пространстве возмущение электромагнитного поля (взаимосвязанные колебания ЭМ поля).



Свойства ЭМВ

1. Векторы $E \perp B \perp c$ (или волновой вектор $k=2\pi/\lambda$, где λ – длина волны) составляют правую тройку:



$$E_y = E_0 \sin(\omega t - kx + \varphi) \quad \lambda = vT;$$

$$B_z = B_0 \sin(\omega t - kx + \varphi)$$

2. Колебания E и B происходят в одной фазе и с одинаковой частотой (синфазны);

3. Модули векторов напряженностей электрического и магнитного полей E и H связаны соотношением:

$$B = \mu_0 \mu H; \quad B = \sqrt{\epsilon_0 \epsilon \mu_0 \mu} E;$$

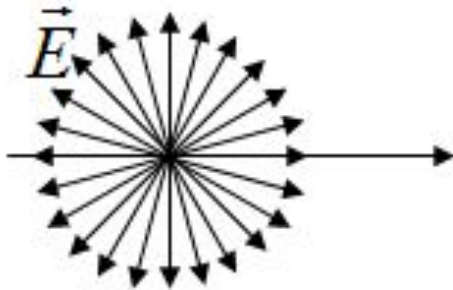
4. Фазовая скорость ЭМВ в среде с диэлектрической проницаемостью ϵ и магнитной μ

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon \mu_0 \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$

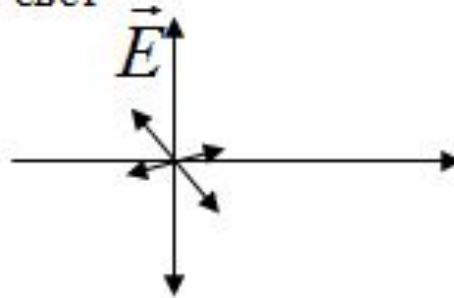
Вспомним: Линейно-поляризованный свет

- **Поляризованным** называется свет, в котором направления колебания вектора упорядочены каким-либо образом. Линейно (плоско) поляризованный свет – в котором колебания E происходят только в одном направлении.

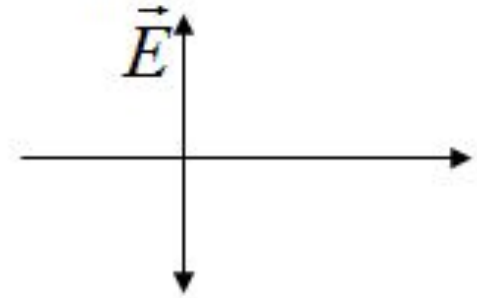
Естественный свет



Частично поляризованный свет



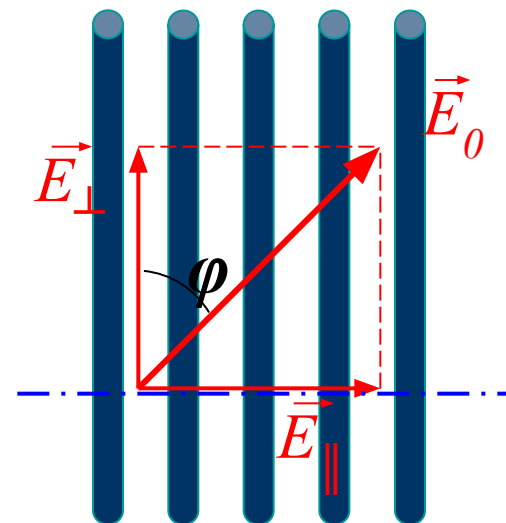
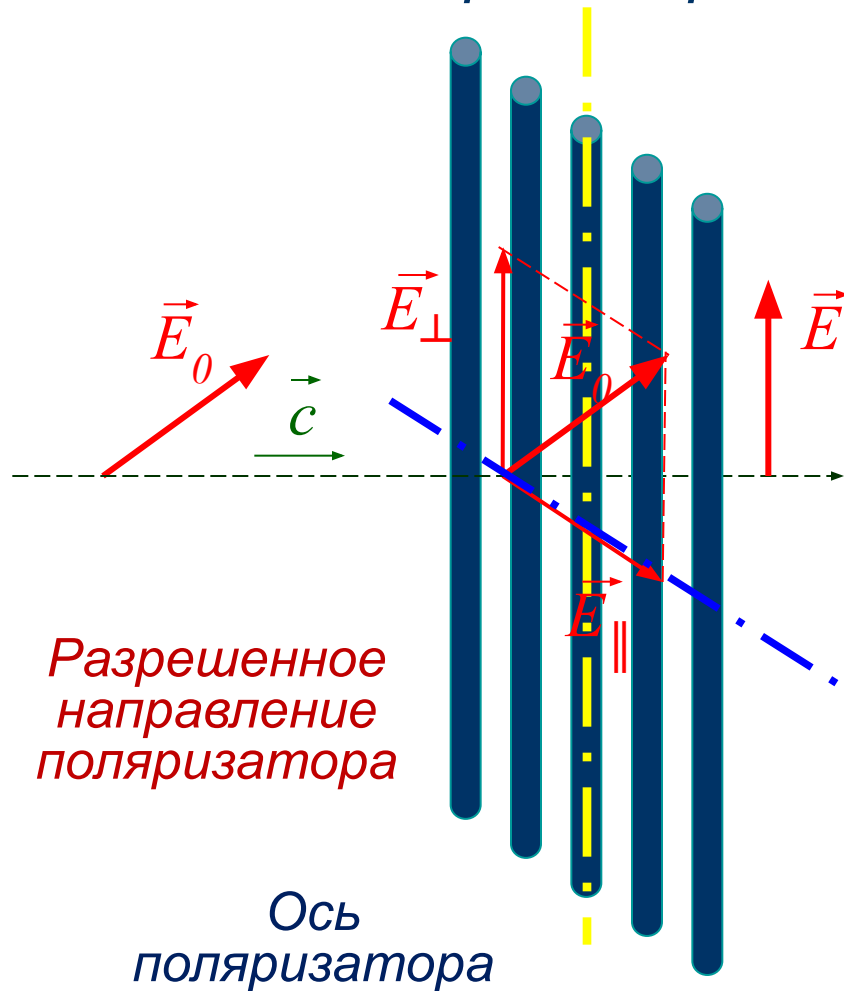
Плоско поляризованный свет



(Свет распространяется перпендикулярно плоскости рис.)

Вспомним: Закон Малюса

Модель поляризатора



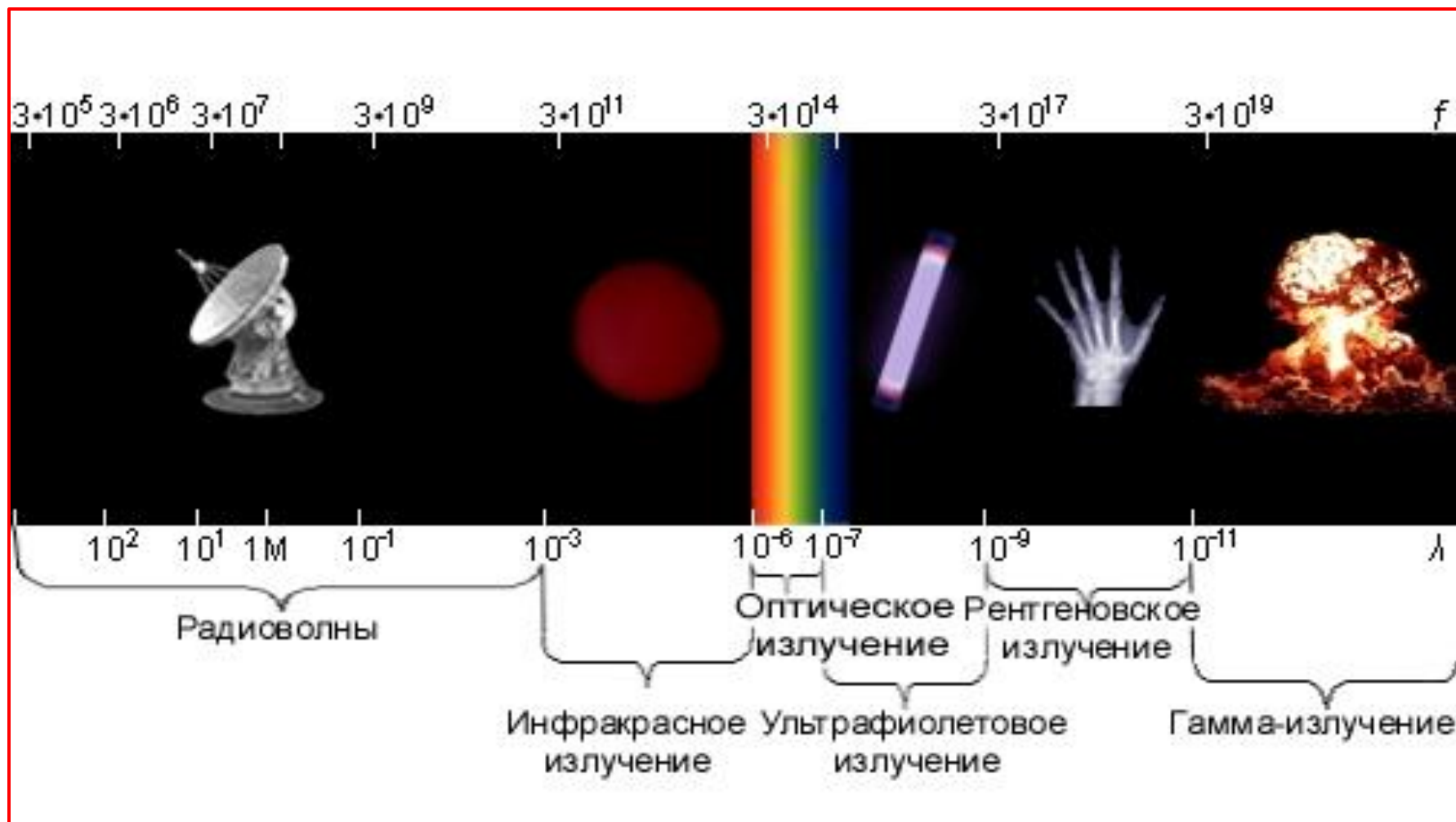
$$E = E_{\perp} = E_0 \cos \varphi$$

$$A = A_0 \cos \varphi$$

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

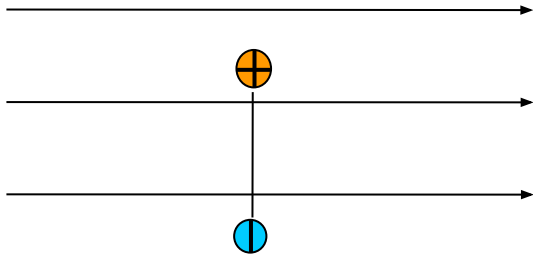
закон Малюса

Шкала электромагнитного излучения



Внизу – длина волны в метрах,верху – частота колебаний в герцах

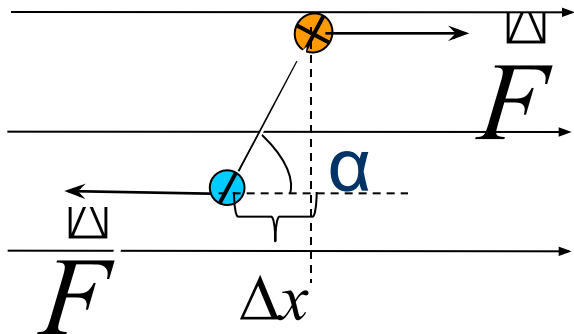
Вспомним: Диполь во внешнем поле



$$\vec{p} = q\vec{l}$$

$\vec{E}$

$$M = F l \sin \alpha = q E l \sin \alpha = p E \sin \alpha$$



$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$$

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

7. Жидкие кристаллы

Типы мезофаз



нематики
N



смектики
Sm



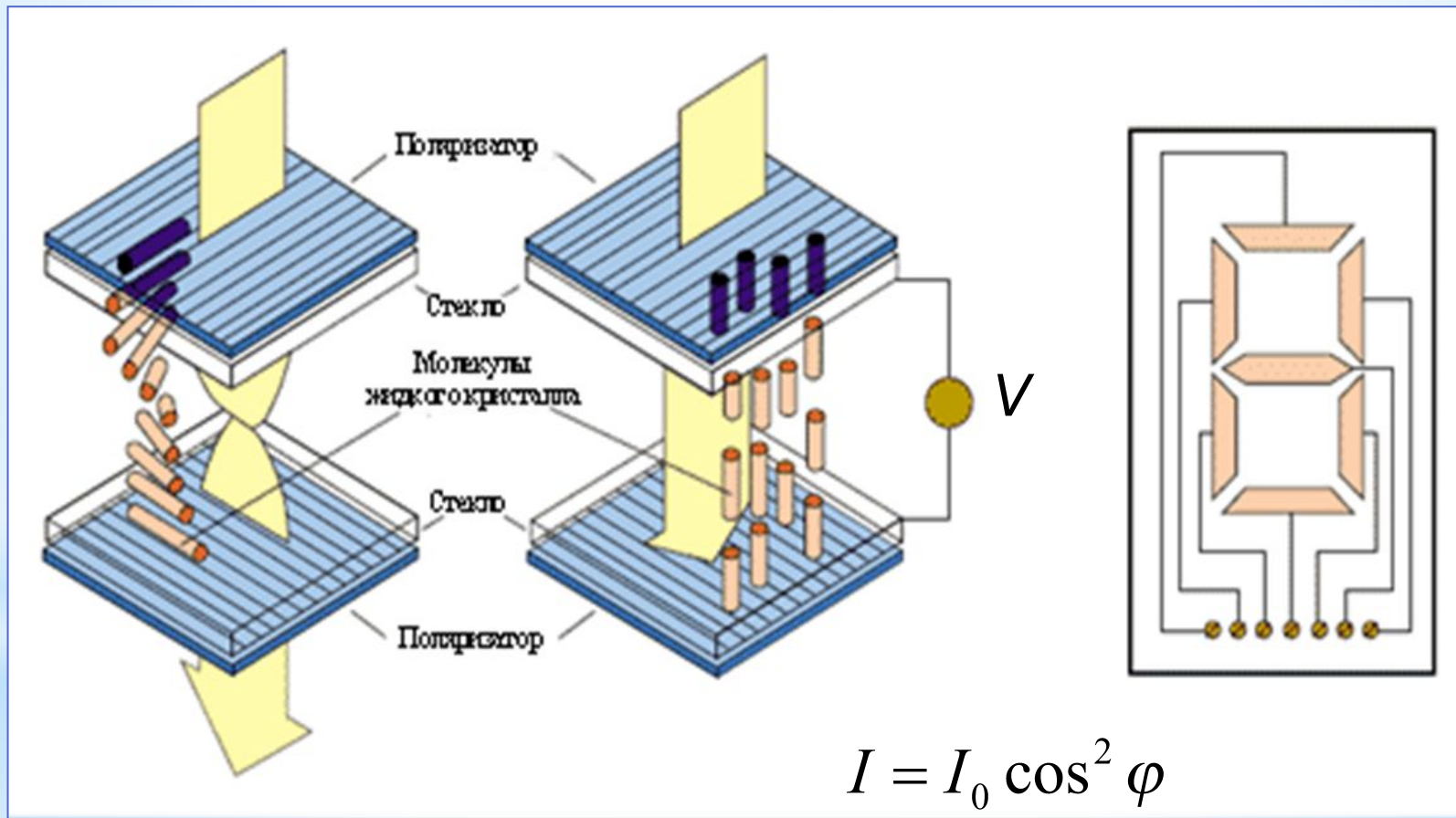
холестерики
N*

Нематические жидкие кристаллы: отсутствует дальний порядок в расположении центров тяжести молекул, молекулы скользят непрерывно в направлении своих длинных осей, вращаясь вокруг них, но при этом сохраняют ориентационный порядок.

Смектики имеют слоистую структуру, слои могут перемещаться относительно друг друга. Толщина смектического слоя определяется длиной молекул, однако вязкость смектиков значительно выше, чем у нематиков, и плотность по нормали к поверхности слоя может сильно меняться.

Холестерики - нематические ЖК, но длинные оси молекул повернуты друг относительно друга так, что они образуют спирали, очень чувствительные к изменению температуры вследствие чрезвычайно малой энергии образования этой структуры (порядка 0,01 Дж/моль).

ЖК дисплей (англ. *liquid crystal display, LCD*)
Субпиксель - элемент матрицы дисплеев,
формирующий изображение:



Матрица ЖК монитора



Термоиндикаторы на основе холестериков



холестерики
 N^*

Оси соседних молекул смещены относительно друг друга, в результате чего образуется холестерическая спираль — слоистая винтовая структура с шагом спирали L порядка 300 нм.

На основе холестерических жидких кристаллов работают преобразователи инфракрасного изображения в видимое (техническая и медицинская диагностики).

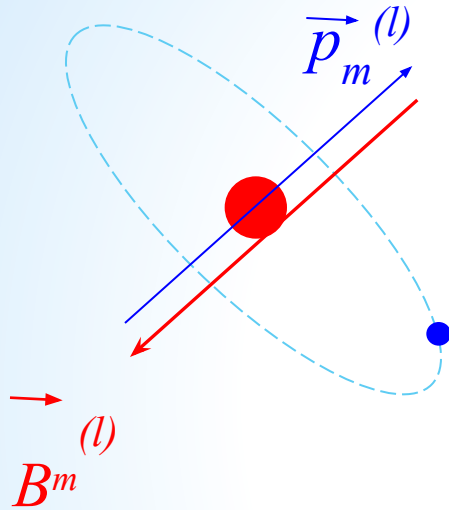
Шаг винтовой спирали сильно зависит от внешних воздействий: при изменении, например, температуры, изменяется расстояние между молекулярными слоями, соответственно изменяется длина волны максимального рассеяния при заданном угле наблюдения (видимый диапазон: 380-770 нм).

*** ВСПОМНИМ!**

Магнитное поле в веществе

**Понятие о магнитных моментах элементарных
частиц**

Молекулярные токи



$$S = \pi r^2$$

Орбитальный магнитный момент электрона

$$I = \frac{dq}{dt} \quad \Delta q = e; \quad \Delta t = \frac{2\pi r}{v}$$

$$I = \frac{ev}{2\pi r}$$

$$p_m = IS = \frac{evr}{2} = \frac{el}{2m}$$

* Вспомним:

1. Вращательный момент и потенциальная энергия контура с током в магнитном поле

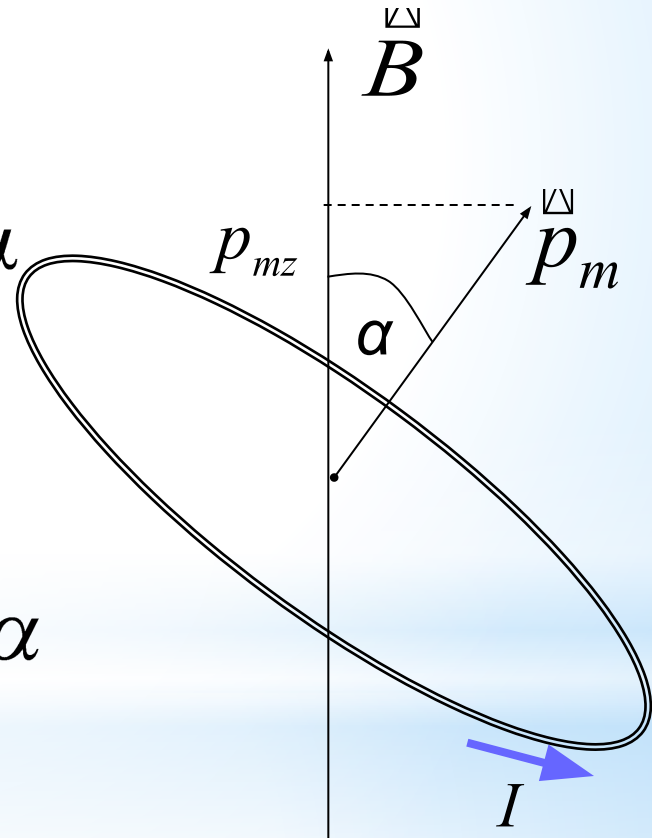
$$\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}$$

$$A = \int M d\alpha = \int p_m B \sin \alpha d\alpha$$

$$\vec{p}_m = IS\vec{n}$$

$$W_m = -\vec{p}_m \cdot \vec{B} = -p_m \cdot B \cos \alpha$$

$$W_m = -p_{mz} \cdot B$$



* Вспомним: спин электрона

Магнитный момент атома

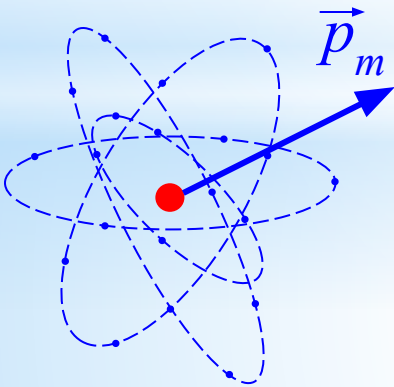
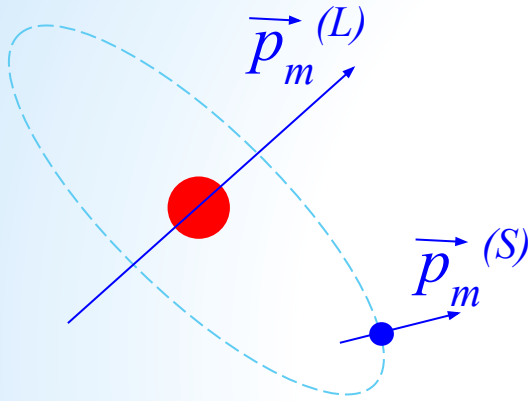
$$\vec{p}_m = \vec{p}_m^{(L)} + \vec{p}_m^{(S)}$$

*Спиновый (собственный)
магнитный момент*

Для многоэлектронного атома и молекулы

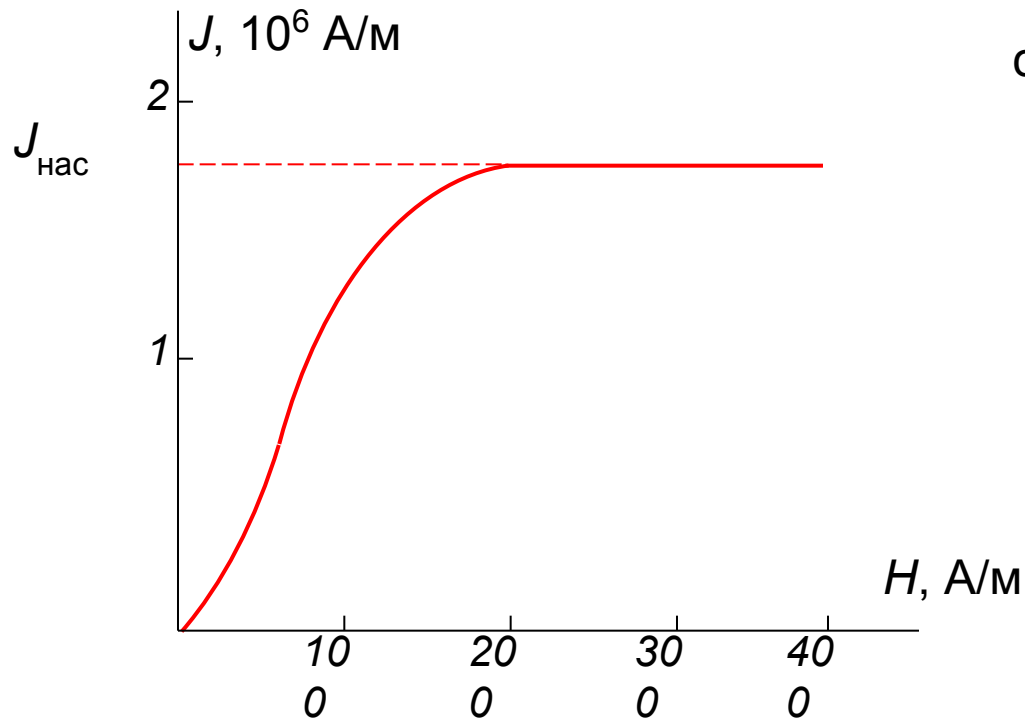
$$\vec{p}_m = \sum_i \vec{p}_{mi}^{(L)} + \sum_i \vec{p}_{mi}^{(S)}$$

(с учетом взаимодействия моментов)



8. Ферромагнетики

- вещества, в к-рых ниже определенной температуры (Кюри точка T_c) устанавливается ферромагнитный порядок магнитных моментов атомов (ионов) в неметаллич. веществах и спиновых магнитных моментов коллективизированных электронов в металлах.



Fe, Ni, Co, + сплавы, соединения;
сплавы и соединения Mn, Cr (хрома)

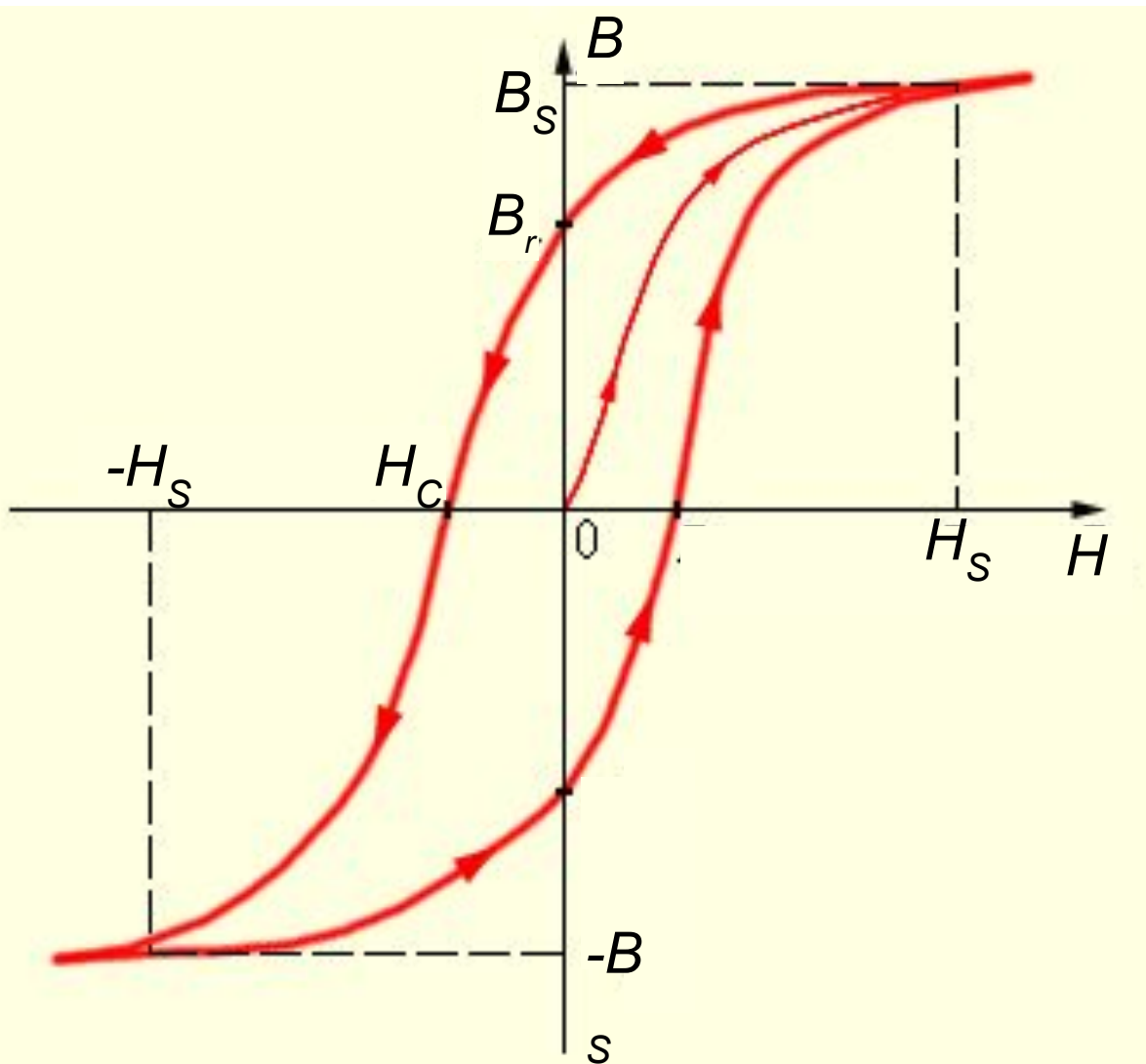
*Намагниченность
(средний по объему
магнитный момент):*

$$\overline{J} = \chi \overline{H}$$

Магнитная восприимчивость:

$$\chi = \chi(H)$$

Петля гистерезиса ферромагнетика



$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J})$$

Остаточная
индукция:

$$B_r = \mu_0 J_r$$

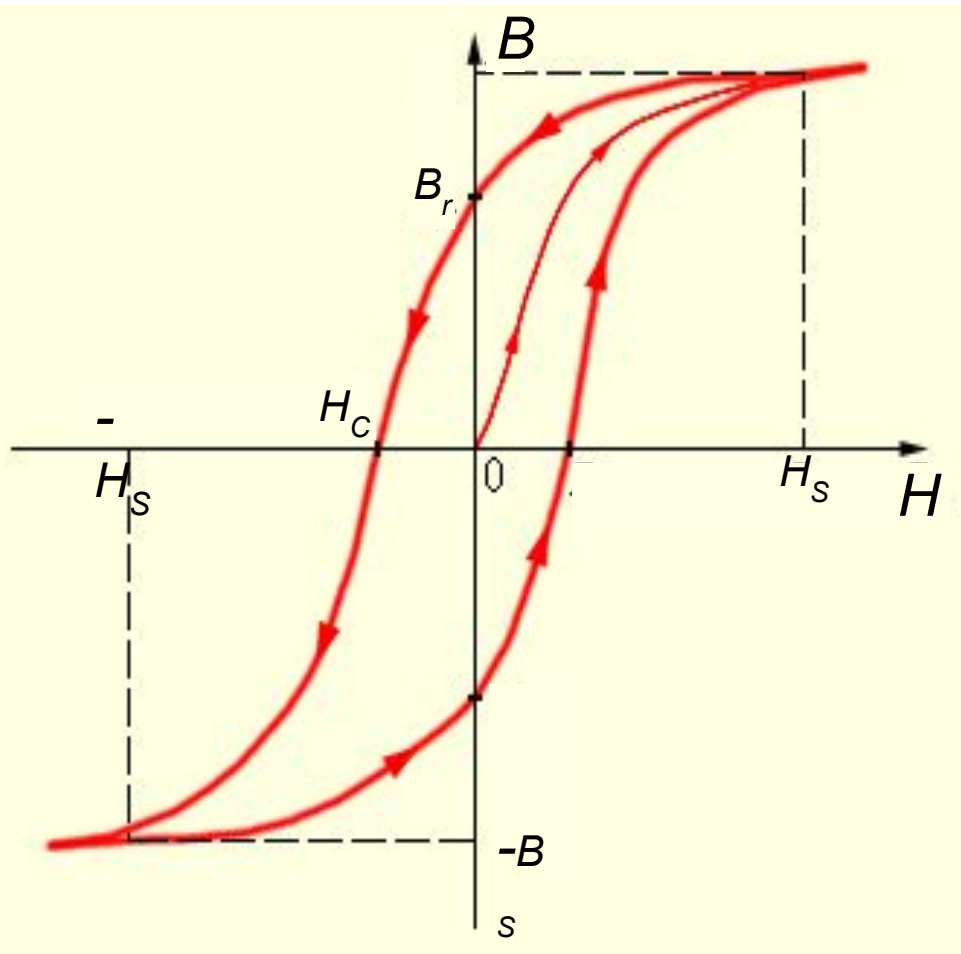
остаточная
намагниченность

H_c - коэрцитивная сила

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$$

$$\mu = \mu(H)$$

Петля гистерезиса ферромагнетика



Φ/m с большой

коэрцитивной силой (магнитно-твердые материалы) используются для изготовления постоянных магнитов

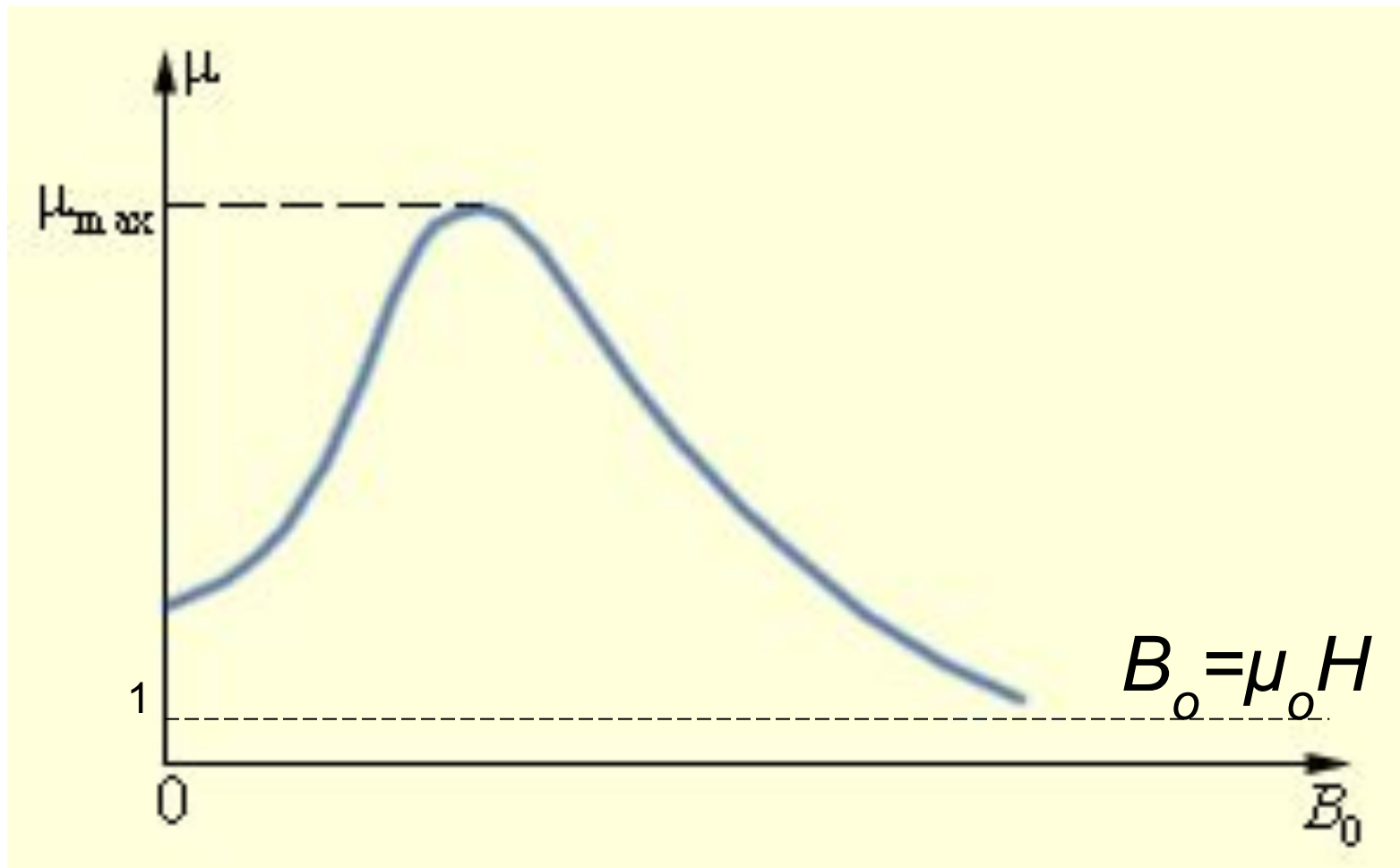
Φ/m с малой коэрцитивной

силой (магнитно-мягкие материалы) используются для изготовления сердечников трансформаторов

Зависимость магнитной проницаемости ферромагнетика от индукции внешнего магнитного поля

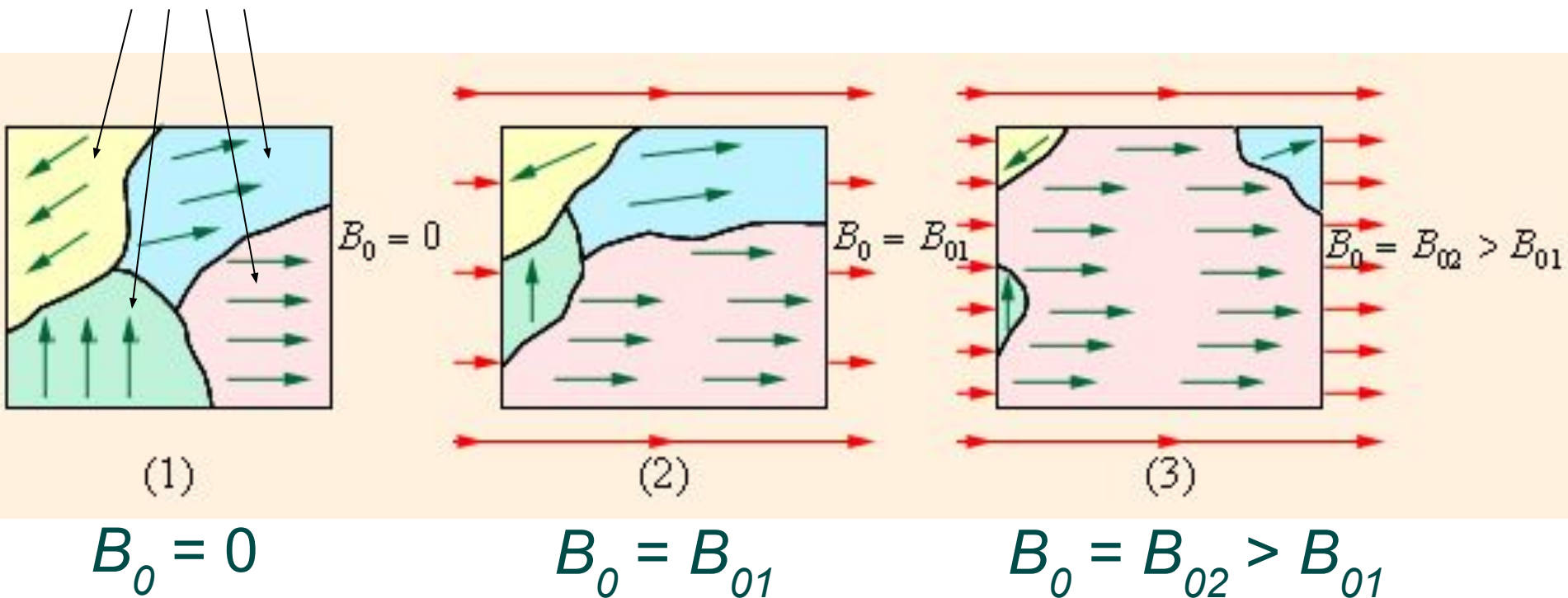
$$\mu = 1 + \chi$$

$$\mu = \mu(H) = \mu(B_0)$$



Намагничивание ферромагнитного образца

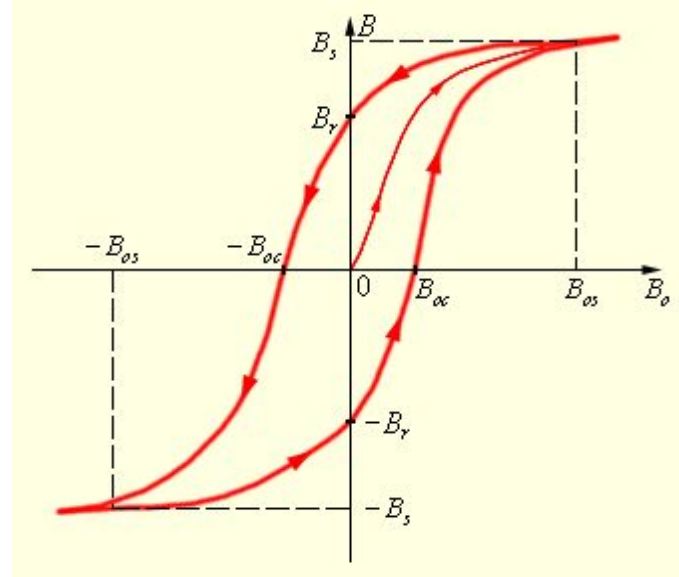
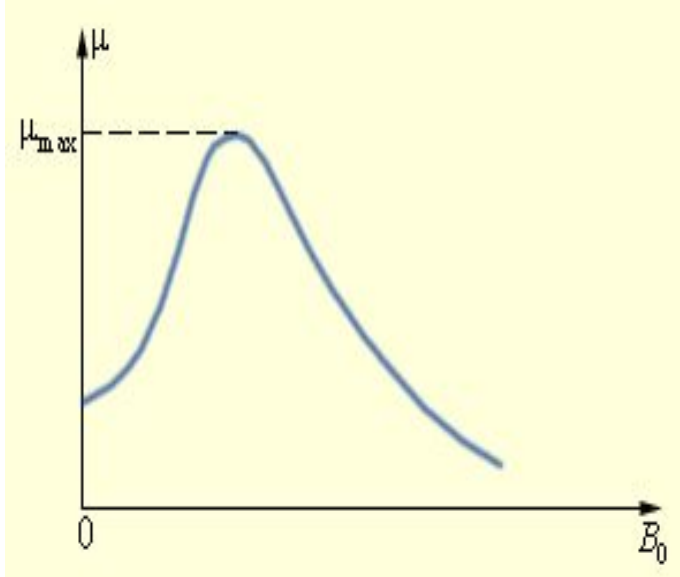
домены (размеры $\sim 1 - 10$ мкм)



Точка Кюри: $T_C^{(Fe)} = 768^\circ\text{C}$; $T_C^{(Ni)} = 365^\circ\text{C}$

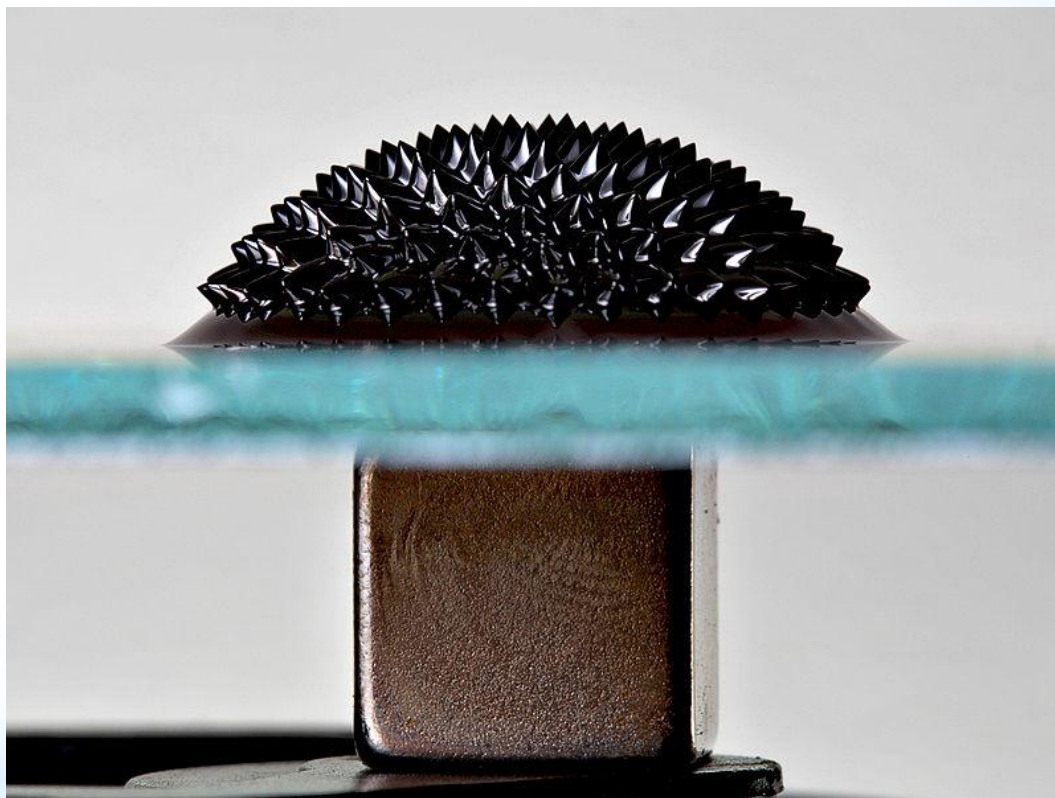
ИТАК, для ферромагнетиков

- Магнитная проницаемость очень велика (до 800 000)
- Сложная зависимость $\mu(B_0)$
- Петля гистерезиса: $B(B_0)$
- ф/м свойства сохраняются только в определенном диапазоне температур (наличие точки Кюри)



Материал	Состав	$\mu_{\max}$	B_r , Тл	H_c , А/м
Железо	99,9% Fe	5 000	-	80
Супермаллой	79% Ni, 5% Mo, 16% Fe	800 000	-	0,3
Алнико	10% Al, 19% Ni, 18% Co, 53% Fe	-	0,9	52 000
				22

6. ФЕРРОМАГНИТНАЯ ЖИДКОСТЬ



Ферромагнитные жидкости состоят из частиц нанометровых размеров (обычный размер 10 нм или меньше) магнетита, гематита или другого материала, содержащего железо, взвешенных в несущей жидкости (коллоидные растворы). Способны изменять состояние под воздействием магнитного поля (жидкое и твердое)

Схема магнитного демпфирующего устройства

Ферромагнитные жидкости используются для создания жидких уплотнительных устройств вокруг вращающихся осей в жёстких дисках. Вращающаяся ось окружена магнитом, в зазор между магнитом и осью помещено небольшое количество ферромагнитной жидкости, которая удерживается притяжением магнита.

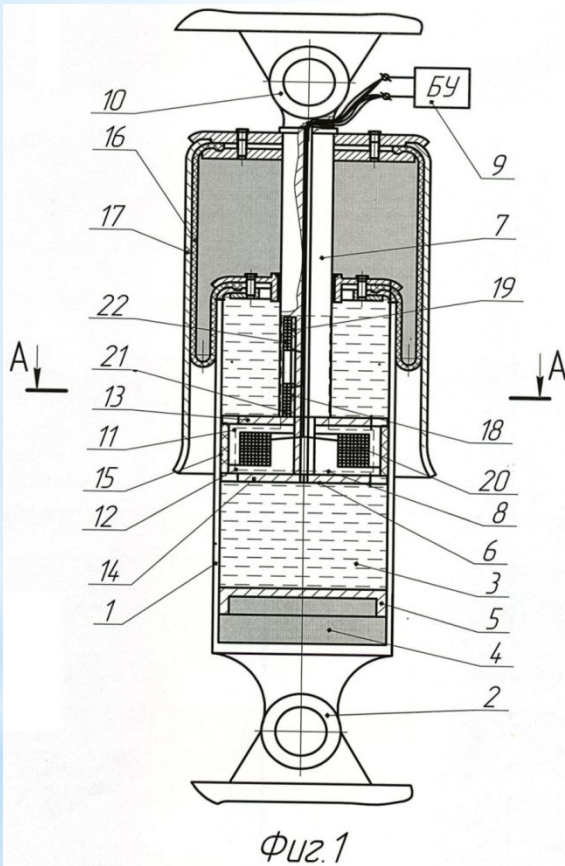
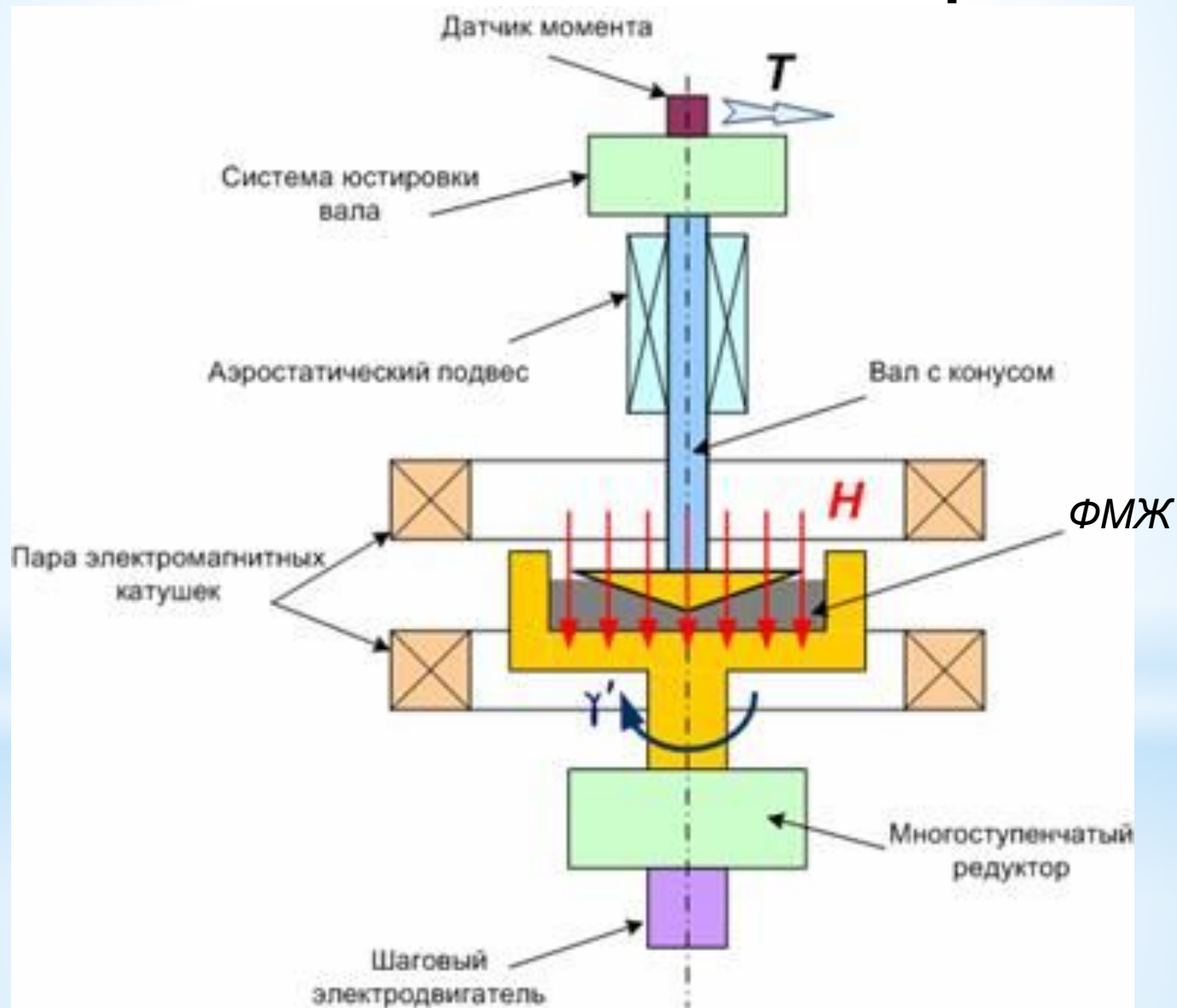


Схема магнитной муфты сцепления



Применение ФМЖ

Машиностроение

Ферромагнитная жидкость способна снижать трение. Нанесенная на поверхность достаточно сильного магнита, например неодимового, она позволяет магниту скользить по гладкой поверхности с минимальным сопротивлением.

Ferrari использует магнитореологические жидкости в некоторых моделях машин для улучшения возможностей подвески. Под воздействием электромагнита, контролируемого компьютером, подвеска может мгновенно стать более жесткой или более мягкой.

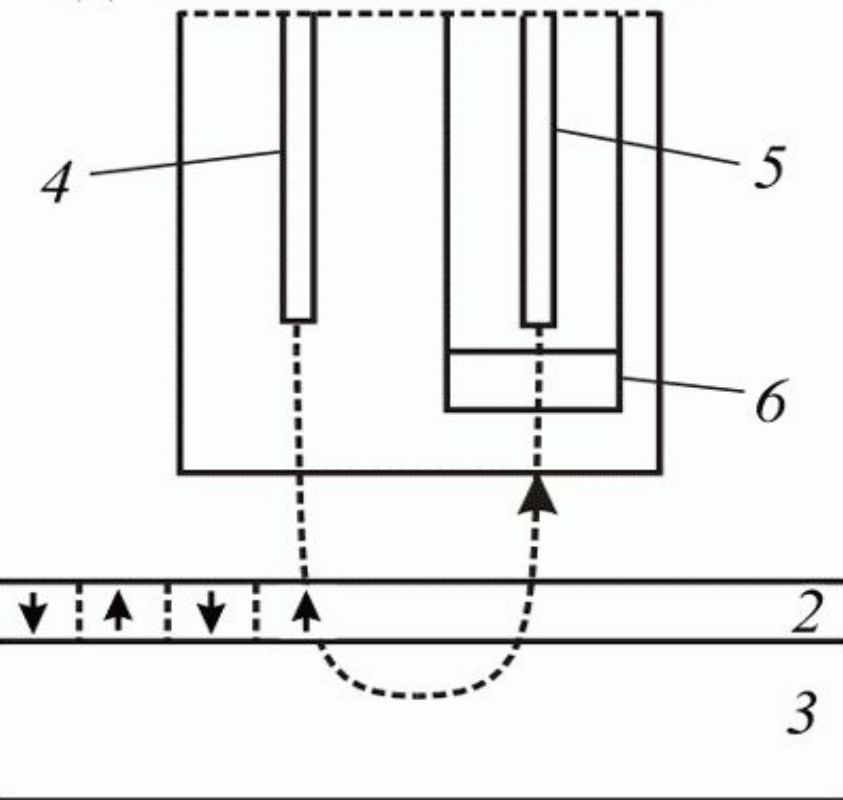
Оборонная промышленность

Военно-воздушные силы США внедрили радиопоглощающее покрытие на основе ферромагнитной жидкости. Снижая отражение электромагнитных волн, оно помогает уменьшить эффективную площадь рассеяния самолета.

Авиакосмическая промышленность

NASA проводило эксперименты по использованию ферромагнитной жидкости в замкнутом кольце как основу для системы стабилизации космического корабля в пространстве. Магнитное поле воздействует на ферромагнитную жидкость в кольце, изменяя момент импульса и влияя на вращение гироскопа корабля.

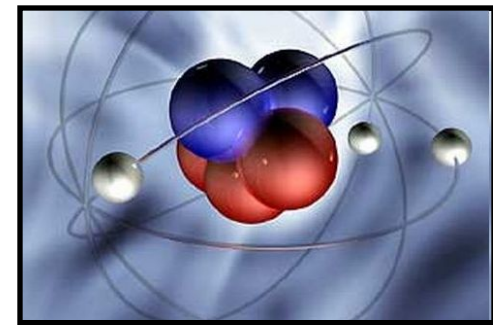
Однополюсная головка 1



Магнитные материалы широко используются в традиционной технологии записи информации в винчестере



II. Элементы квантовой механики



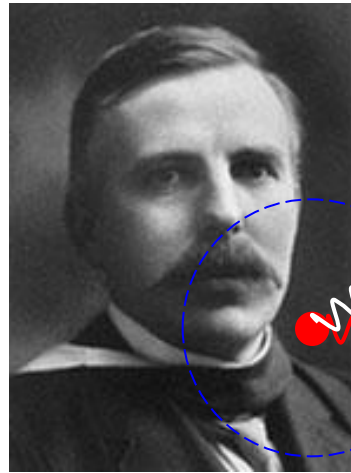
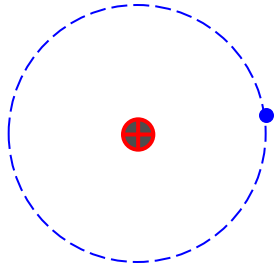
2.1. Основные положения

- КМ Описывает процессы микромира (физика атома и ядра)
- У квантовых объектов (например, электрон в атоме) свойства волны и частицы находятся в единстве
- Все законы квантовой механики имеют вероятностный характер, точные значения всех ФВ принципиально неизвестны:

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \geq \hbar$$

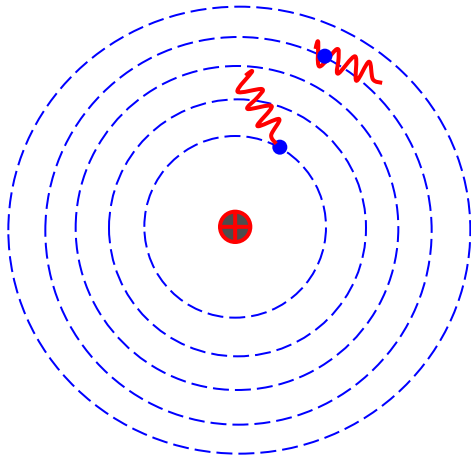
$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$$

Модель атома Резерфорда



Резерфорд
(Rutherford)
Эрнст
(1871 – 1937)

2.2. Постулаты Н.Бора



1. $E = E_n; \quad n = 1, 2, 3, \dots$

Электрон находится

2. $h\nu = \hbar\omega = E_n - E_m$

3. $L = mvr = n\hbar$

2.3. Аппарат квантовой механики

1. Уравнение Шредингера

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0 \quad + \text{граничные условия}$$

$\{E_1, E_2, \dots, E_n\}$
(спектр энергий)

Потенциальная энергия

$$\psi(x, t) = \psi_0 e^{\frac{i}{\hbar}(px - Et)}$$

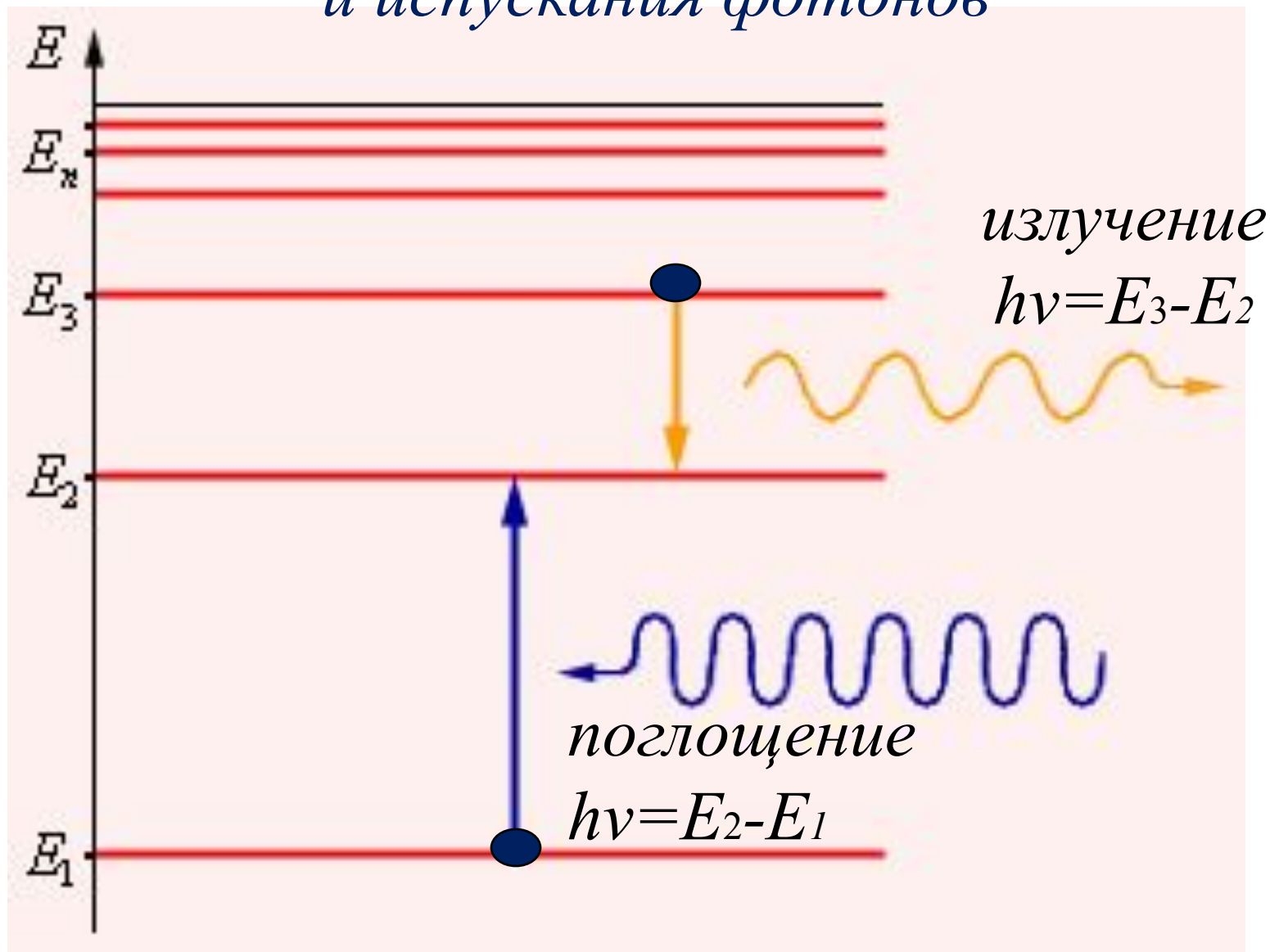
$$dP = |\psi|^2 dV = \psi^* \psi dV$$

$$h\nu = E_n - E_m$$

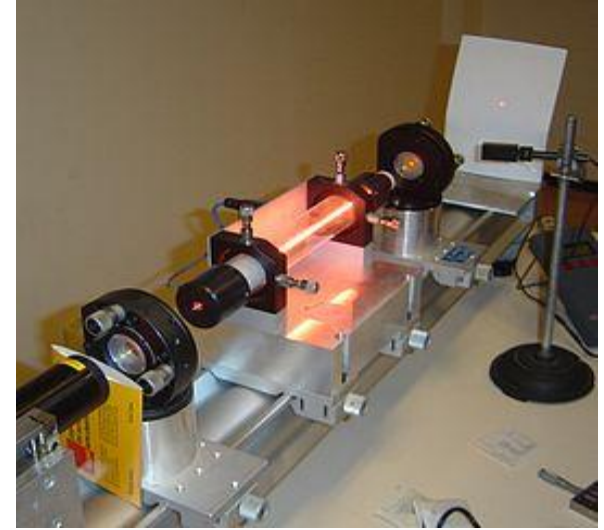
(спектр излучения)

$$\int_0^\infty |\psi|^2 \cdot dV = 1$$

Энергетические уровни электрона в атоме и условное изображение процессов поглощения и испускания фотонов



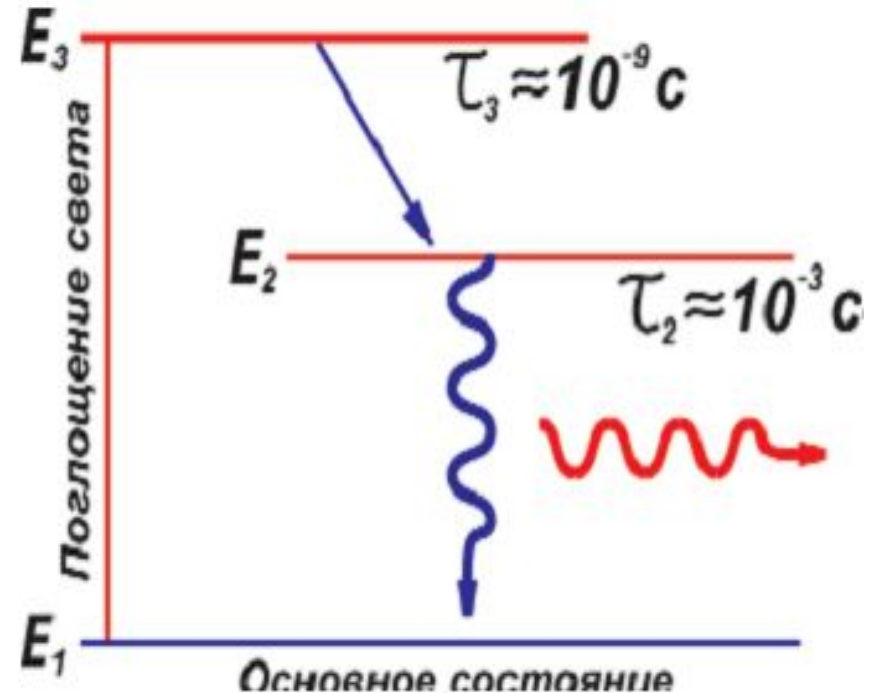
Лазер



- **Ла́зер** (англ. *laser*, от *light amplification by stimulated emission of radiation* «усиление света посредством вынужденного излучения»), или **опти́ческий квантовый генера́тор** — это устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

Инверсная заселенность уровней в атоме

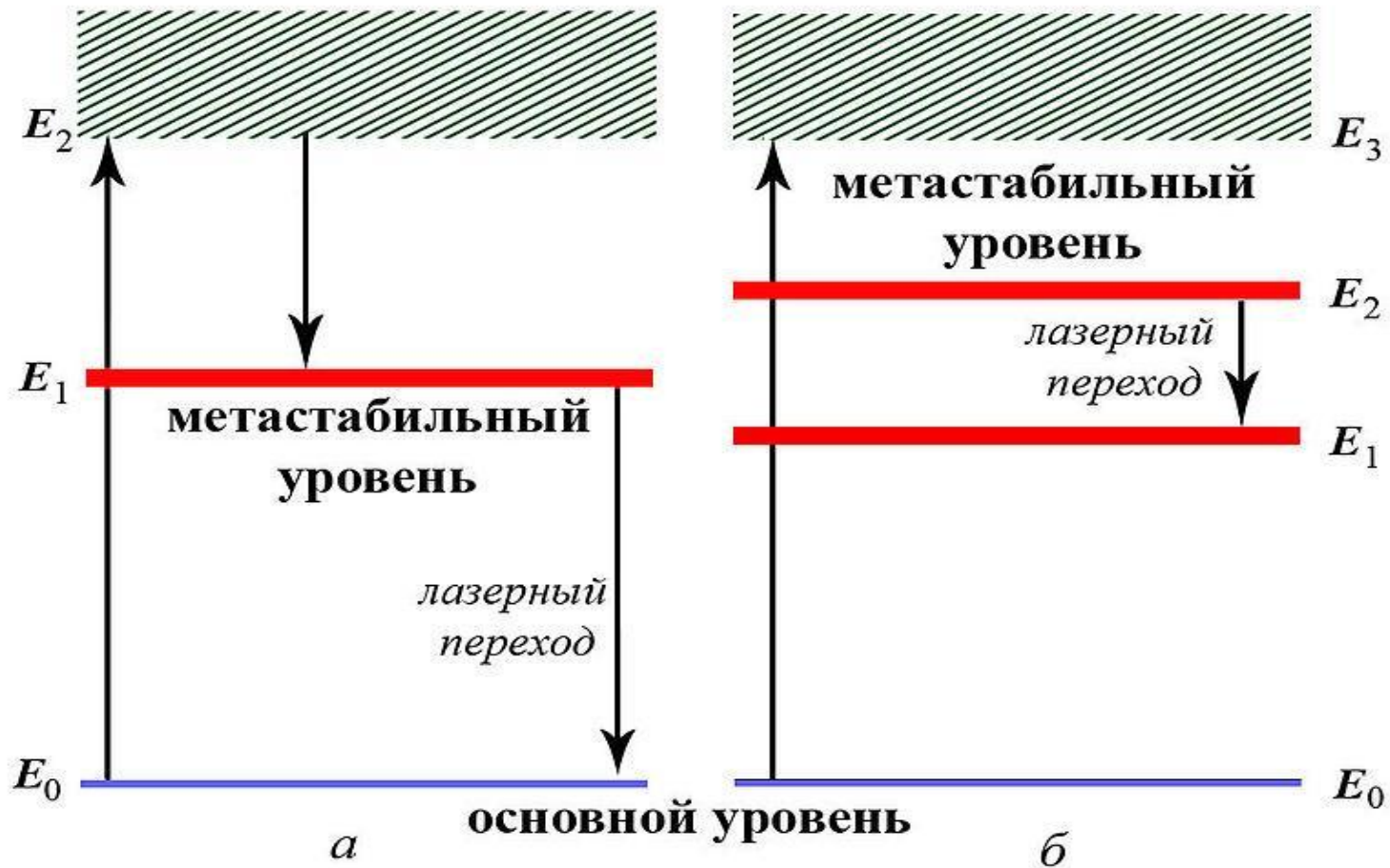
Из возбужденного состояния электрон всегда стремится вернуться в основное, поэтому время его пребывания в таком состоянии мало – наносекунда. Переход электрона на более низкий энергетический уровень сопровождается излучением кванта света. Такое самопроизвольное излучение принято называть спонтанным.



- Для усиления света и получения когерентного излучения надо, чтобы возбужденных атомов было больше, чем в невозбужденном состоянии - «инверсная заселенность» (см. рис.): уровень E_2 – метастабильный, на нем накапливаются электроны.

Принцип работы лазера

- Физической основой работы лазера служит явление вынужденного (индуцированного) излучения. Суть явления состоит в том, что возбуждённый атом способен излучить фотон под действием другого фотона без его поглощения, если энергия последнего равняется разности энергий уровней атома до и после излучения. При этом излучённый фотон когерентен фотону, вызвавшему излучение (является его «точной копией»). Таким образом происходит усиление света. Этим явление отличается от спонтанного излучения, в котором излучаемые фотоны имеют случайные направления распространения, поляризацию и фазу.



- *а* — трёхуровневая и *б* — четырёхуровневая схемы накачки активной среды лазера.

Основные части лазера

- активная (рабочая) среда (с возможностью создания инверсной заселенности уровней) - 1;
- система накачки (источник энергии – световой импульс, электрический разряд или др. – переводящей электроны в метастабильное состояние) - 2;
- оптический резонатор (3 – зеркало, 4 – полупрозрачное зеркало, 5 – лазерный луч.

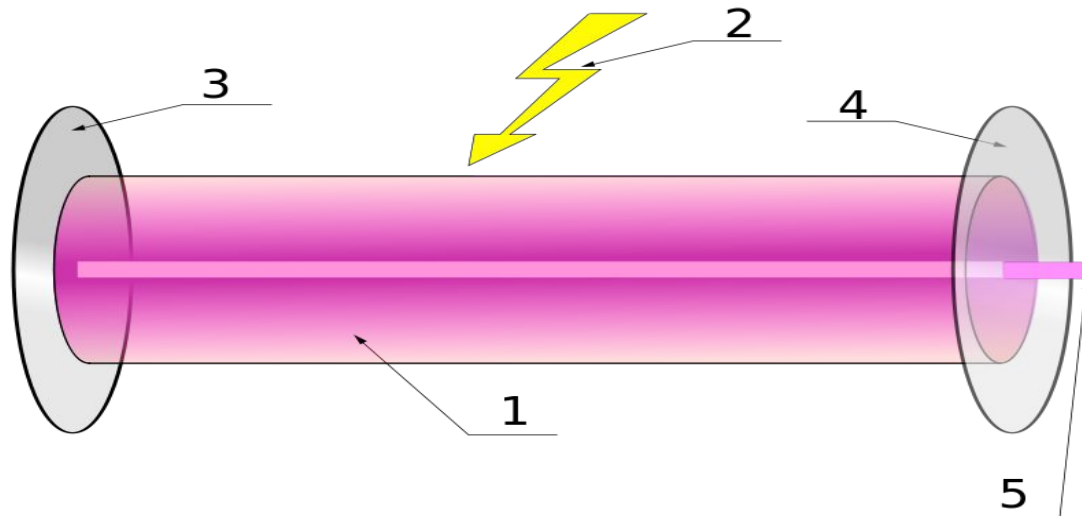
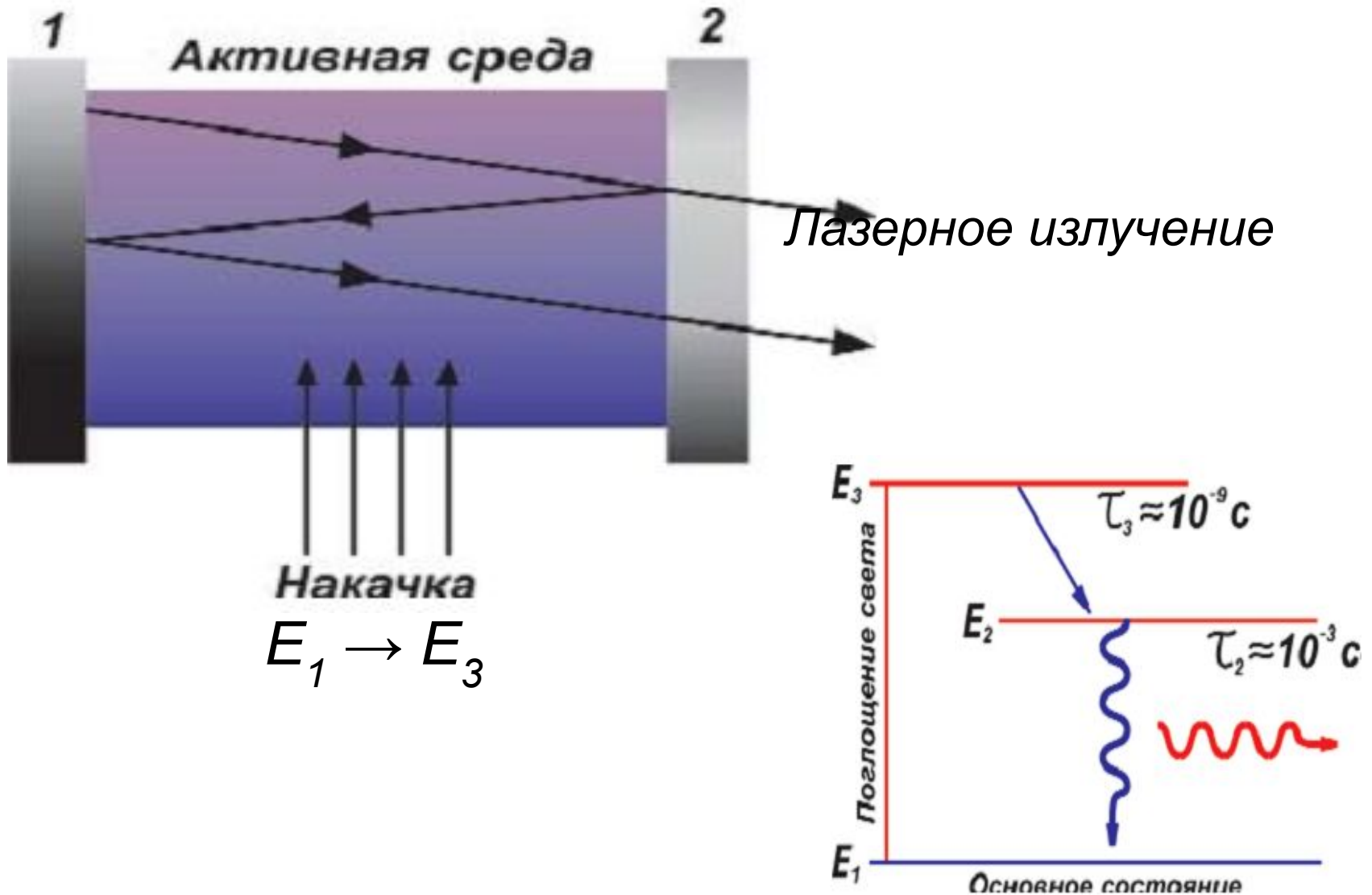


Схема оптического резонатора



Свойства лазерного излучения

- 1) Малая расходимость пучка: $0,003^\circ$, его можно сфокусировать в точку 500 нм;
- 2) Монохроматичность (одна частота ν или длина волны λ);
- 3) Высокая интенсивность пучка: $>10^{20}$ Вт/см²;
- 4) Возможность управлять длительностью импульса.

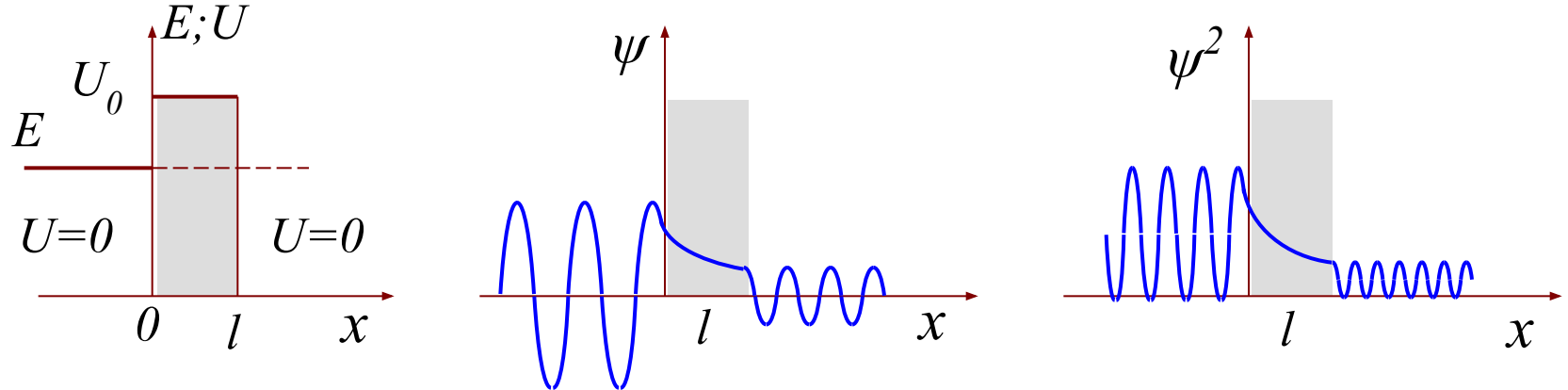
Применение лазеров

- Для сварки, резки и плавления металлов, в медицине - как бескровные скальпели при лечении разных болезней.
- Лазерная локация позволила измерить скорость вращения планет и уточнить характеристики движения Луны и Венеры.
- Лазеры используются в оптоволоконных линиях связи для передачи и обработки информации.
- Лазеры считывают информацию с компактдисков в каждом компьютере и проигрывателе.
- Для нагрева плазмы в попытках создать термоядерный синтез.

§ 2.4. Туннельный эффект

Туннельный эффект, туннелирование - преодоление микрочастицей потенциального барьера в случае, когда её полная энергия меньше высоты барьера.

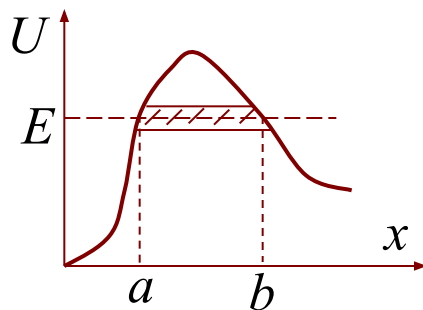
Потенциальный барьер: туннельный эффект



Коэффициент прохождения (коэффициент прозрачности) для прямоугольного потенциального барьера:

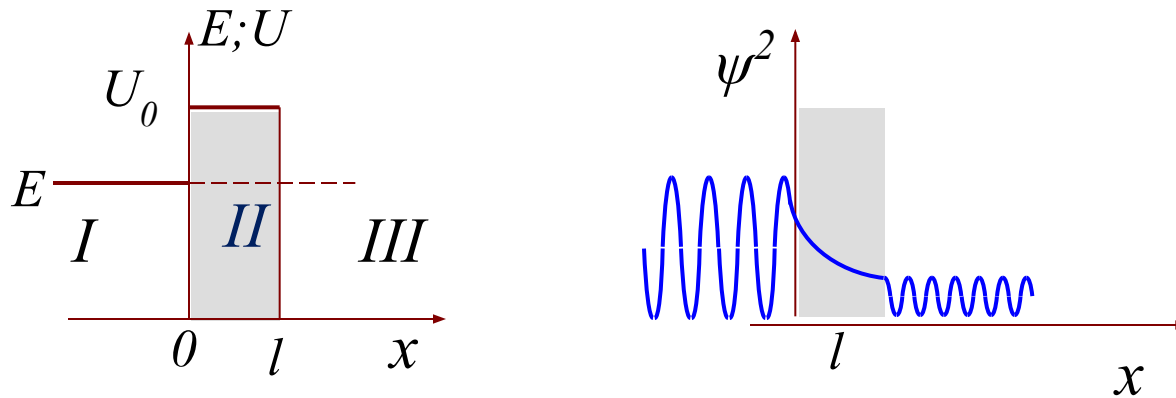
$$D = \exp \left[-\frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(U_0 - E)} l \right]$$

Коэффициент прохождения барьера произвольной формы:



$$D = e^{-\frac{2}{\hbar} \int_a^b \sqrt{2m(U(x) - E)} dx}$$

Объяснение туннельного эффекта следует из решения уравнения Шредингера

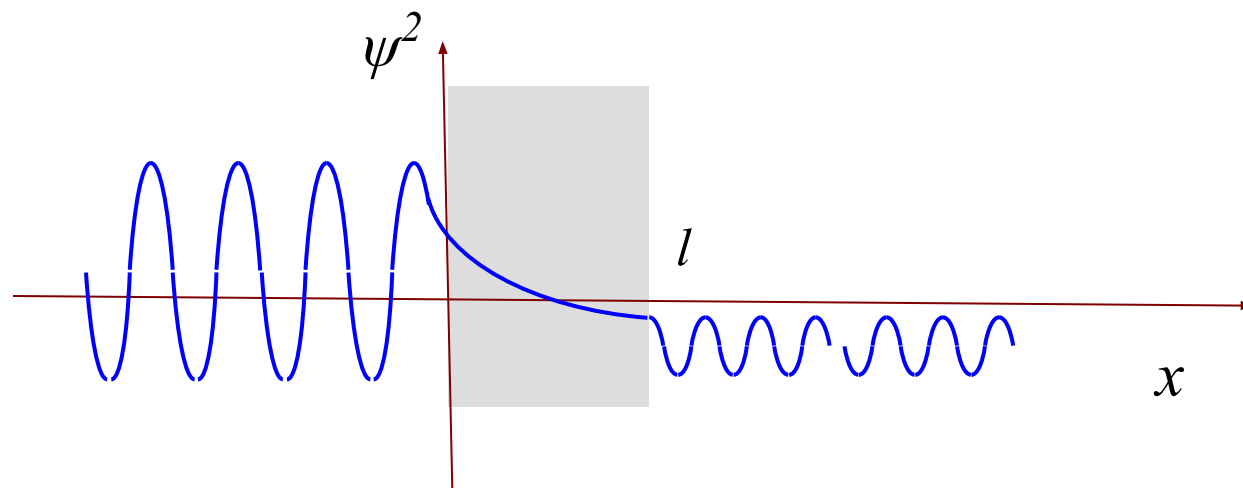


$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U_0) \psi = 0$$

$$l_{\text{эф}} = \frac{1}{2k_0} = \frac{\hbar}{\sqrt{2m(U - E)}}$$

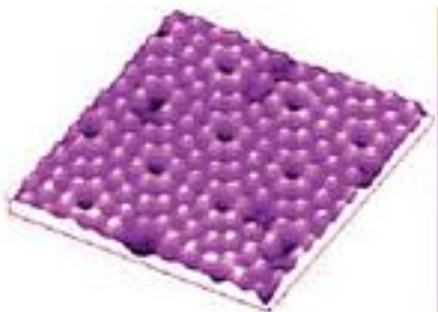
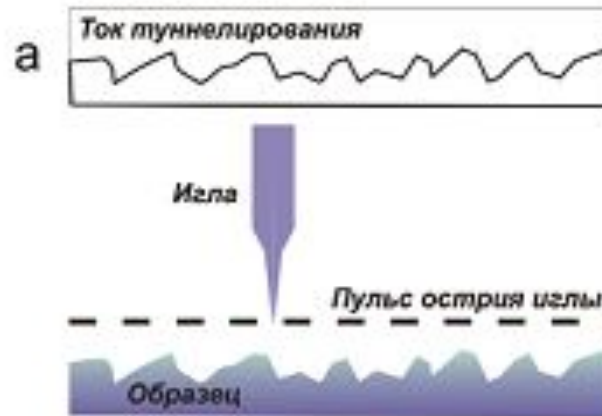
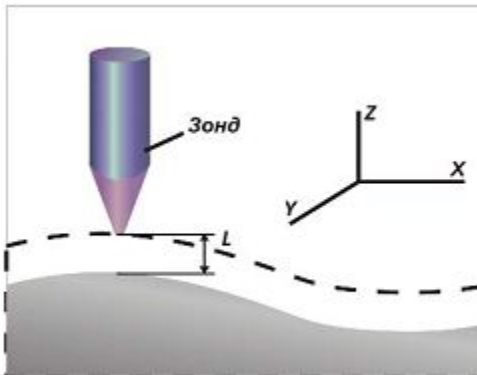
- эффективная глубина проникновения частицы «за барьер» (порядка 10^{-6} м)

Туннельный эффект Т. э. лежит в основе понимания закономерностей альфа-распада радиоактивных ядер, термоядерных реакций, автоэлектронной эмиссии электронов из металлов и полупроводников, контактных явлений.



Туннельный сканирующий микроскоп (1981 г. IBM Г. Бининг и Г. Рорер, Нобел. Пр. 1985 г.)

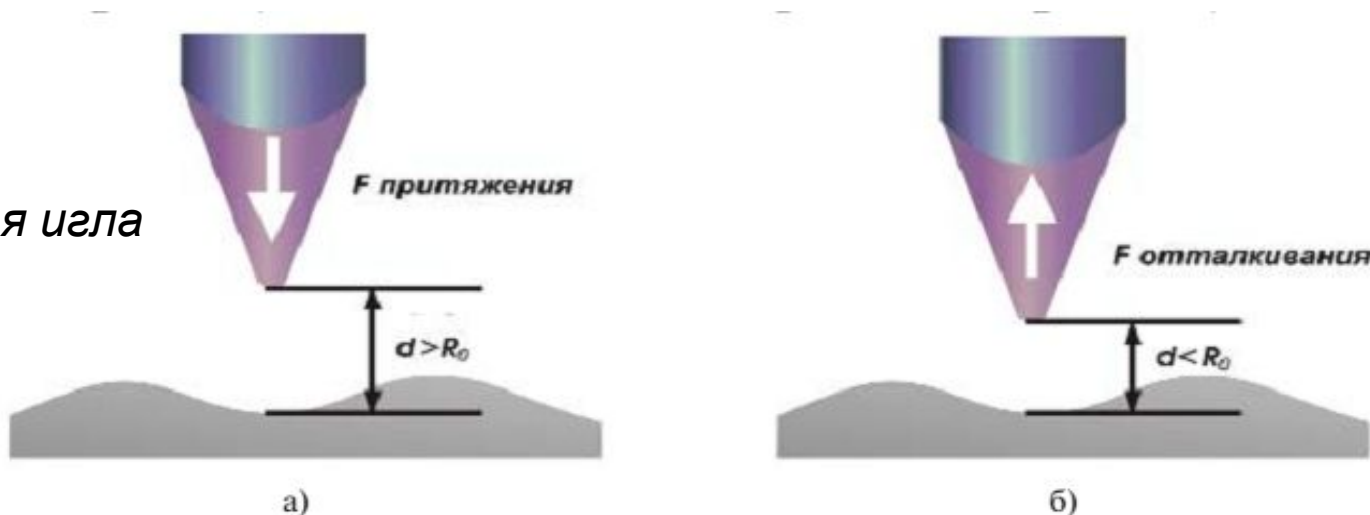
- Зонд- токопроводящая игла;



Изображение поверхности кремния

Атомно-силовой микроскоп

Зонд - алмазная игла



Работа атомно-силового микроскопа основана на использовании сил межатомных связей. На малых расстояниях (около 0,1 нм) между атомами двух тел действуют силы отталкивания, а на больших – силы притяжения.

Рис.: Зависимость силы межатомного взаимодействия в функции расстояния между зондом и поверхностью