Вопросы к коллоквиуму №2

1. Электростатическое поле: электрический заряд, напряженность электрического поля, электрический потенциал и их свойства. Связь потенциала с напряженностью электрического поля. Потенциальная энергия точечного заряда и системы точечных зарядов

Электри́ческий заря́д (коли́чество электри́чества) — это скалярная физическая величина, определяющая способность тел быть источником электромагнитных полей и принимать участие в электромагнитном взаимодействии. Является неотъемлемым свойством элементарных частиц.

Величина заряда любого тела может принимать только дискретные значения, кратные величине элементарного заряда. Однако из-за малости элементарного заряда, величину часто принимают непрерывной.

Фундаментальное свойства заряда – его **инвариантность** : в электрически изолированной системе алгебраическая сумма зарядов есть величина постоянная.

Величина заряда не зависит от того, покоится заряженное тело или движется, т.е. она одинакова в различных ИСО, следовательно является релятивистки инвариантной величиной.

Напряженность – это векторная физическая величина, характеризуй электрическое поля в данной точке пространства, равна отношению силы, действующей со стороны поля на помещенный в эту точку «пробный заряд», к величине этого заряда.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{пр.}}$$

Напряженность электрического поля, векторная величина, не зависит от величины вносимого в поле заряда и является его силовой характеристикой. Принцип суперпозиции - напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов в данной точке пространства, равна векторной сумме напряженностей электрических полей, создаваемых в той же точке зарядами в отдельности

Условились считать, что ее направление совпадает с силой, действующей на положительный заряд.

Силовые линии электростатического поля разомкнуты

Потенциалом данной точки электростатического поля называется величина, численно равная потенциальной энергии единичного положительного заряда, помещенного в данную точку поля.

$$\varphi = \frac{W}{q_{пр}}$$

Свойство аддитивности потенциала:

Потенциал любой точки электростатического поля, созданного системой точечных зарядов, равен алгебраической сумме потенциалов, созданных в этой точке каждым из зарядов системы в отдельности.

Т.к. электрическое поле является потенциальным силовым полем, то оно может быть выраженно через свой потенциал, через выражение:

$$\vec{E} = -grad\varphi = -\nabla\varphi; \quad grad\varphi = \vec{i}\frac{\partial\varphi}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial\varphi}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial\varphi}{\partial z}$$

Вектор напряженности в данной точке электростатического поля равен градиенту потенциала в этой точке, взятому с противоположным знаком.

Потенциальная энергия пробного точечного заряда qпр, находящегося на расстоянии r от точечного заряда Q, равна

$$W_p = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_{пр}Q}{r}.$$

$$W_2 = q_2\varphi_{21}$$

Используя независимость попарного взаимодействия и аддитивность потенциальной энергии, для произвольной системы N неподвижных точечных зарядов получим

$$W = \sum_{i \neq k} W_{ik} = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} q_i \left(\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{N} \varphi_{ki} \right) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} q_i \varphi_i ,$$

2. Теорема Гаусса для электрического поля в вакууме.

Поток вектора напряженности электростатического поля через замкнутую поверхность равен алгебраической сумме электрических зарядов, находящихся внутри этой поверхности, деленной на ε_0 .

$$\oint_S (\vec{E} d\vec{S}) = q / \varepsilon_0$$

Поток вектора напряжённости электрического поля через любую произвольно выбранную замкнутую поверхность пропорционален заключённому внутри этой поверхности электрическому заряду.

Применяя теоремы Остраградского-Гаусса, запишем эту теоремы в дифференциальной форме:

$$div\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

ρ – плотность заряда в данной точке

Эта теорема - основная в электростатике, так как устанавливает связь электрического поля с его источниками, то есть зарядами.

Общий смысл теоремы Гаусса состоит в том, что электростатическое поле имеет источники - электрические заряды!!!

3. Теорема о циркуляции вектора напряженности электрического поля. Потенциальность электростатического поля.

$$\oint_L (\vec{E} d\vec{\ell}) = 0$$

Циркуляция вектора напряженности электростатического поля по произвольному замкнутому контуру равна нулю.

Применяя теорему Стокса,

$$\oint_L \left(\vec{a}\,d\vec{\ell}\right) = \int_S \left(\left[\nabla\times\vec{a}\right]d\vec{S}\right) = \int_S \left(\mathrm{rot}\,\vec{a}\;d\vec{S}\right)$$

получаем <u>дифференциальную</u> форму теоремы о циркуляции вектора напряженности электростатического поля:

$$rot\vec{E} = 0;$$

<u>*Если ротор вектора, характеризующего силовое поле, в любой его точке равен нулю, то такое поле* потенциально</u>

Смысл этой теоремы – электростатическое поле является потенциальным (что не касается вихревого электрического поля, для которого эта теорема не выполняется).

(Если поле потеницаильно – то для него может быть введнеая потецниальная энергия или потеницал)

4. Электрическое поле в диэлектрике. Вектор электрического смещения. Теорема Гаусса для электрического поля в диэлектрике.

В диэлектриках в идеальном случае нет свободных зарядов, положительные и отрицательные заряды связаны друг с другом в пределах одной молекулы.

Под действием внешнего электрического поля на поверхности диэлектрика появляются связанные заряды, которые ослабевают внешнее электрического поля.

Чтобы охарактеризовать это ослабевание, вводится вектор электрического смещения:

$$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P} \quad \text{(D)}$$

Где P: $\vec{P} = \dfrac{\sum\limits_{\Delta V}\vec{p}_i}{\Delta V}$ - (вектор поляризации диэлектрика)

Для однородного диэлектрика имеем:

$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E}$$

Коэффициент пропорциональности. ε называется диэлектрической проницаемостью вещества.

Тогда мы можем теорема Гаусса для диэлектриков в более удобном виде:

$$\oiint_S (\vec{D}d\vec{s}) = \sum_{i=1}^{N} q_i$$

Поток вектора электрического смещения через произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме сторонних зарядов, заключенных внутри этой поверхности.

Важно отметить: Если в диэлектрике свободные заряды отсутствуют (**ρ = 0.**), , т.е. диэлектрик электрически нейтрален, то в этом случае:

$$\nabla\vec{D} = 0.$$

5. Постоянный ток: условия существования, закон Ома для полной цепи. Законы Кирхгофа как следствия законов сохранения.

Для возникновения и существования электрического тока необходимо:

– наличие свободных носителей, способных перемещаться упорядоченно;

– наличие электрического поля, энергия которого каким-то образом восполняясь, расходовалась бы на упорядоченное движение.

Закон Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

Где ε – ЭДС источника

R - ?

r - ?

Правила Кирхгофа является следствием следующих законов сохранения:

1) Закон сохранения заряда
2) Закон сохранения энергии

Так из первого следует, что: в каждом узде цепи алгебраическая сумма входящих и исходящих токов должна быть равна нулю.

$$\sum i_k = 0.$$

Из второго:

Для любого замкнутого контура сумма всех падений напряжений равна алгебраической сумме всех электродвижущих сил в этом контуре.

$$\sum_k i_k R_k = \sum_n \varepsilon_n .$$

(Как следствие законов сохранения применимых к полю)

6. Магнитное поле: индукция магнитного поля, принцип суперпозиции. Закон Био-Савара-Лапласа. Магнитные поля прямого и кругового токов.

Проводник с током создает (возбуждает) в пространстве силовое поле, которое действует на другой проводник с током и отклоняет магнитную стрелку. Это силовое поле называется МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ.

Магнитное поле описывается с помощью вектора магнитной индукции.

Физический смысл: индукция магнитного поля показывает, куда и с какой силой будет ориентировать магнитная стрелка, помещённая в данную точку магнитного поля. Индукция определяет силовую характеристику магнитного поля.

$$\vec{B} = \vec{B}(\vec{r}, t).$$

Принцип супер позиции: Индукция магнитного поля, создаваемого k источниками в некоторой точке M равна векторной сумме индукций полей, создаваемых каждым из источников в отдельности.

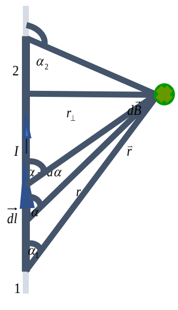
$$\vec{B}(M) = \sum_k \vec{B}_k(M).$$

Закон Био-Савара-Лапласа позволяет определить магнитное поле, создаваемое малым участком проводника dl:

$$\boxed{d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\left[\overrightarrow{dl}, \vec{r}\right]}{r^3}.}$$

Закон Био – Савара – Лапласа + ***принцип суперпозиции*** позволяют вычислить индукцию магнитного поля, создаваемого любым отрезком проводника с током.

Так, например поле **прямолинейного проводника** с током:



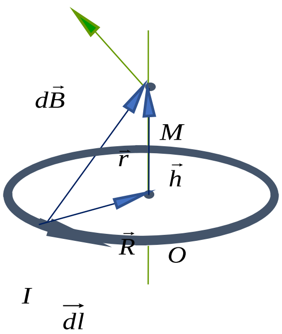
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_\perp}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_\perp}$$ (в случае бесконечно длинного)

Для кругового:

Индукция магнитного поля на оси кругового тока на ра сстоянии h :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}}\vec{k}$$



$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2R}\vec{k}$$ (В центре кругового тока (при h = 0))

7. Сила Ампера. Сила Лоренца. Взаимодействие параллельных проводников с током. Контур с током в магнитном поле.

В 1820 г. А. Ампер экспериментально установил, что на элемент тока со стороны магнитного поля действует сила, равная

$$d\vec{F} = I[d\vec{\ell}\ \vec{B}],$$ **(Сила Ампера)**

где ***dl*** – элементарный вектор, модуль которого равен длине рассматриваемого элементарного отрезка проводника, а направление совпадает с направлением тока (направленного движения *положительно* заряженных частиц), ***B*** – вектор магнитной индукции поля.

Направление силы Ампера определяется правилом буравчика или правилом левой руки.

Ток – направленное движение заряженных частиц.

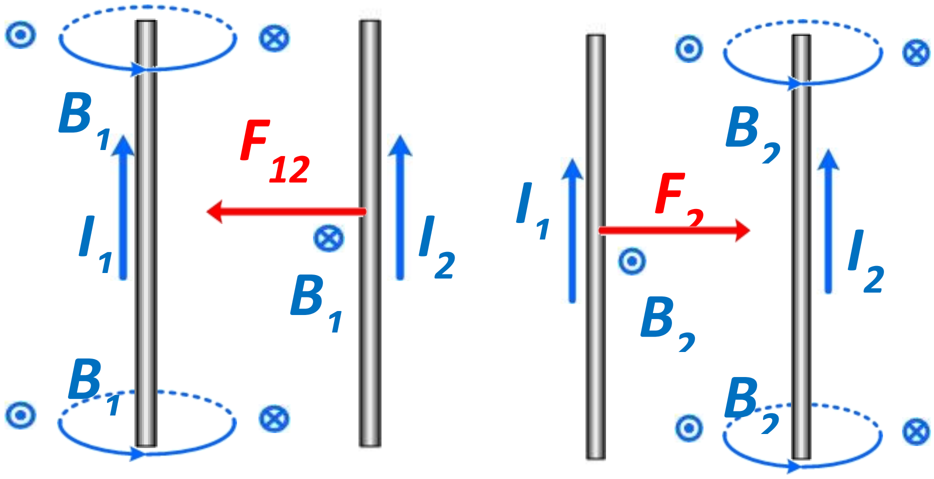
Сила, действующая со стороны магнитного поля на движущейся заряд, называется ***силой Лоренца.***

$$\boxed{\vec{F}_L = q_0[\vec{\mathrm{v}} \cdot \vec{B}].}$$

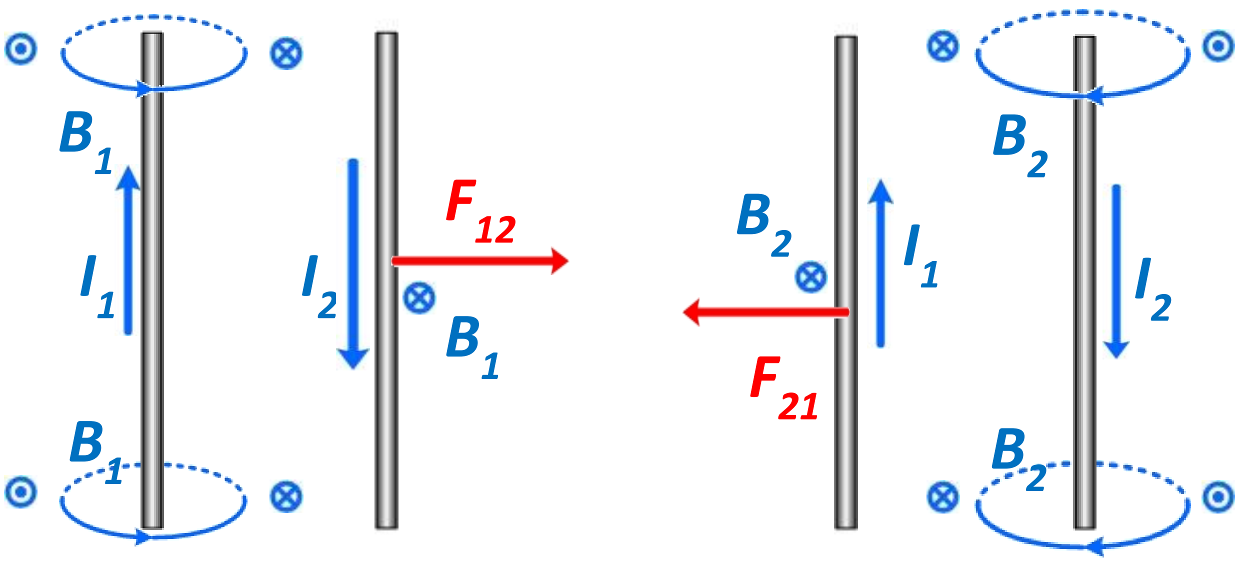
Направление силы Лоренца можно определять по правилу буравчика или по правилу левой руки.

Взаимодействие двух параллельных проводников с током:

1) Если токи сонаправлены, то проводники притягиваются:



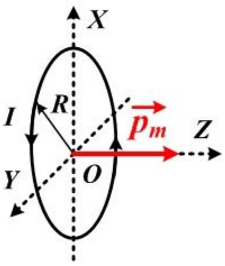
2) Если токи противнаправлены, то проводники отталкиваются:



Для описания действия магнитного поля на контур с током введём следующую физ. величину:

Магнитным моментом контура с током называется вектор, величина которого равна:

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



При помещении контура с током в магнитное поле, возникает сила стремящийся развернуть контур так, чтобы его магнитный момент был бы *направлен так, как и вектор индукции магнитного поля.* При этом такое положение является положением устойчивого равновесия.

Момент сил, действующих на контур с током, помещённый в магнитное поле:

$$\boxed{\vec{M} = \left[\vec{p}_m, \vec{B}\right].}$$

Направление вектора момента сил определяется по правилу буравчика.

8. Магнитный поток. Теорема Гаусса для магнитного поля.

Магни́тный пото́к — поток вектора магнитной индукции через некоторую поверхность.

Величина:

$$\boxed{d\Phi = \left(\vec{B}, d\vec{S}\right),}$$

где ***dS*** - вектор, численно равный площади, охваченной контуром, и направленный вдоль вектора нормали к контуру, называется магнитным потоком.

Для контура конечных размеров, помещённого в неоднородное магнитное поле, магнитный поток можно вычислить по формуле

$$\boxed{\Phi = \int_S \left(\vec{B}, d\vec{S}\right) = \int_S B\,dS\cos\alpha,}$$

Теорема Гаусса для магнитного поля:

$$\Phi = \oint_S (\vec{B} d\vec{S}) = 0.$$

(в интегральной форме)

Поток вектора индукции магнитного поля <u>*через любую замкнутую поверхность*</u> *равен нулю.*

Это утверждение отражает тот факт, что в природе не существует магнитных зарядов.

Пользуясь теоремой Остроградского - Гаусса, эту теорему можно записать в дифференциальном виде:

$$div\vec{B} = 0,$$

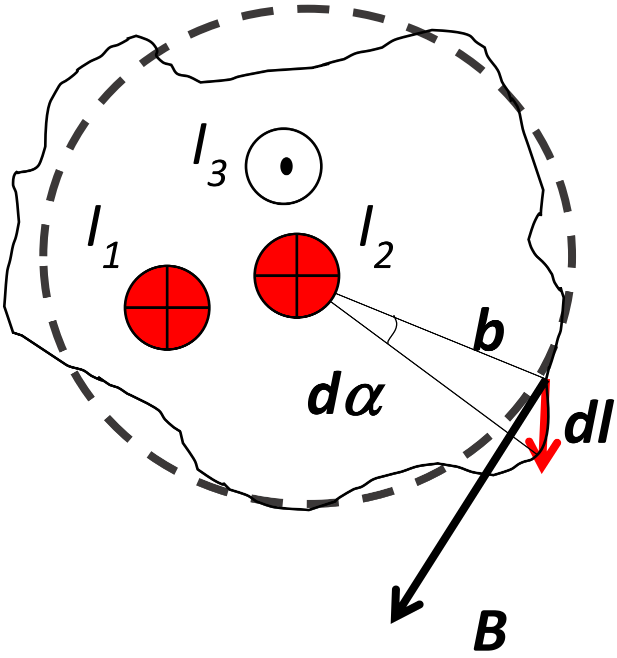
(в дифференицальной форме)

9. Теорема о циркуляции вектора индукции магнитного поля (в интегральной или дифференциальной форме).

Теорема.(без док-ва).

Циркуляция вектора индукции стационарного магнитного поля в вакууме по произвольному замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов, охватываемых данным контуром, умноженной на магнитную постоянную.

$$\boxed{\oint_L (\vec{B} d\vec{\ell}) = \mu_0 \sum_{k=1}^{N} I_k}$$



Смысл этой теоремы:

Стационарное магнитное поле не является **потенциальным**.

Стационарное магнитное поле является **вихревым полем**.

Используя теорему Стокса, можно получить запись в дифференциальной форме:

$$\boxed{rot\vec{B} = \mu_0 \vec{j}.}$$

10. Магнитное поле в веществе. Гипотеза Ампера. Намагниченность. Вектор напряженности магнитного поля.

Магнитное поле в разных вещестах может претепивать изменния (уссиливаться или уменьшатся).

Гипотеза Ампера:

Можно предположить, что в веществе текут замкнутые молекулярные токи, каждый из которых можно рассматривать, как замкнутый контур с током. именно на эти молекулярные токи и действует внешнее магнитное поле.

Под действием внешнего поля магнитные моменты молекулярных токов могут упорядочиваться, что приводит к усилению или ослаблению внешнего магнитного поля веществом.

Для описания **намагниченности** магнетика введём векторную величину, которая называется ***вектором намагниченности*** или ***намагниченностью:***

$$\vec{J} = \frac{\sum_i \vec{p}_{mi}}{\Delta V}, \quad \sum_i \vec{p}_{mi} -$$

суммарный магнитный момент, созданный молекулярными токами в объеме вещества магнетика.

Физический смысл вектора намагниченности состоит в том, что ***он равен суммарному магнитному моменту единицы объёма вещества***.

$$\boxed{\frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J} = \vec{H},}$$

вектор напряжённости магнитного поля.

Напряжённость магнитного поля ***H*** является такой силовой характеристикой магнитного поля, которая зависит только от внешних, макроскопических токов.

Для изотропных однородных магнетиков, связь между вектором **напряжённости** и вектором магнитной индукции можно записать как:

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

Величина μ называется ***магнитной проницаемостью***

Магнитная проницаемость показывает, во сколько раз индукция магнитного поля данном веществе больше индукции внешнего магнитного поля, в которое данное вещество помещено.

11. Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля в веществе.

Для **напряжённости** магнитного поля H теорему о циркуляции можно записать и в интегральной форме:

$$\boxed{\oint_L \left(\vec{H} d\vec{\ell}\right) = \sum_k I_k^{macro}.}$$

(равен сумме макро токов (без учёта молекулярных))

В дифференциальной форме:

$$rot\vec{H} = \vec{j}.$$

Смысл этой теоремы – напряжённость магнитного поля H является такой силовой характеристикой магнитного поля, которая зависит только от внешних, макроскопических токов. (имеет физический смысл «внешнего» поля). И не зависит от характеристик вещества.

1. Зная внешние макроскопические токи, найти напряжённость H магнитного поля.
2. Зная напряжённость H найти намагниченность J .
3. Зная намагниченность J, найти плотность молекулярных токов и индукцию B магнитного поля.

12. Понятия о диамагнетиках, парамагнетиках и ферромагнетиках.

К ***диамагнетикам*** относится большинство неорганических соединений и практически все органические.

У ***парамагнетиков*** сила втягивания как правило больше, чем у диамагнетиков и она растёт с понижением температуры. С ростом температуры парамагнитные свойства могут исчезать.

К ***ферромагнетикам*** относятся Fe, Ni, Co, некоторые их соединения. Число известных ферромагнетиков постоянно растёт.

Ферромагнитное состояние разрушается при нагревании до определённой температуры (температура Кюри).

Диамагнетики ($\chi < 0,\ \mu < 1$). Магнитные моменты атомов равны нулю.

Орбитальное движение отдельного электрона создает элементарный ток, который приводит к появлению магнитного поля, направленному противоположно внешнему магнитному полю и ослабляющее его.

Магнитная восприимчивость диамагнетиков отрицательна, но мала по величине. Магнитная проницаемость меньше единицы. (пример плазма: отрицательные электроны летают вращаясь, создают поле ослабляющее)

Парамагнетики ($\chi > 0,\ \mu > 1$). Молекулы парамагнетиков обладают магнитным моментом. Вследствие теплового движения магнитные моменты ориентированы беспорядочно. При внесении парамагнетика во внешнее магнитное поле устанавливается преимущественная ориентация магнитных моментов атомов по полю. Таким образом, в парамагнетике создается собственное магнитное поле, совпадающее по направлению с внешним полем и усиливающее его.

Магнитная восприимчивость парамагнетиков положительна, но мала по величине. Магнитная проницаемость больше единицы.

При нагревании парамагнетика даже при наличии внешнего магнитного поля преимущественная ориентация магнитных моментов нарушается.

Для **диа-** и **парамагнетиков** эта зависимость линейная:

$$\boldsymbol{J} = \chi \boldsymbol{H},\ \boldsymbol{B} = \mu\mu_0 \boldsymbol{H},\ \ \chi = \mathrm{const},\ \mu = \mathrm{const}.$$

В **ферромагнетике** даже при отсутствии внешнего намагничивающего поля существуют многочисленные малые области – домены (области, самопроизвольно намагниченные до насыщения, но направления векторов намагниченности в различных доменах при отсутствии внешнего поля могут быть ориентированы хаотично.) (домены являются макроскопическими нескольких миллиметров).

Ферромагнитными свойствами обладают железо, никель, кобальт и некоторые их сплавы и соединения, а именно:

1) Высокая намагниченность, превышающая в 1010-1011 раз намагниченность диа- и парамагнетиков при соответствующих внешних полях и, как следствие этого, огромные значения относительной магнитной проницаемости ($\mu \approx$ 105 - 106).
2) Нелинейная зависимость намагниченности и магнитной индукции от напряженности внешнего поля.
3) Наличие гистерезиса. Значения величин, характеризующих состояние ферромагнетика при данном значении намагничивающего поля, зависят от того, в каком состоянии до этого находился ферромагнетик.
4) Ферромагнитные свойства исчезают при нагревании ферромагнетика до некоторой температуры, называемой температурой Кюри. При более высоких температурах ферромагнетик становится парамагнетиком.

13. Электромагнитная индукция. Закон Фарадея. Явление самоиндукции. Индуктивность. ЭДС самоиндукции.

Электромагнитная индукция - явление, заключающееся в том, что в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока, охватываемого этим контуром, возникает электрический ток (индукционный ток).

1. Индукционный ток возникает всегда, когда происходит изменение сцепленного с контуром потока магнитной индукции.

2. Сила индукционного тока совершенно не зависит от способа изменения потока магнитной индукции, а определяется лишь скоростью его изменения.

Возникновение индукционного тока указывает на наличие в цепи электродвижущей силы, называемой **электродвижущей силой электромагнитной индукции**.

Закон Фарадея:

ЭДС электромагнитной индукции в контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную этим контуром:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}, \qquad \varPhi = \left(\vec{B}\cdot\vec{S}\right)$$

Правило Ленца: Индукционный ток всегда имеет такое направление, что своим магнитным полем препятствует причине, вызывающей этот ток.

Явление самоиндукции:

Самоиндукция — это явление возникновения ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении протекающего через контур тока, и как следствие изменении магнитного потока, в частности, изменяющийся поток может создаваться током, текущем в самом рассматриваемом контуре. **Токи самоиндукции** – дополнительные токи, вызываемые ЭДС индукции.

Индуктивность:

Индуктивность численно равна величине магнитного потока, пронизывающего контур (или катушку) при силе тока в контуре, равной единице (в соответствующей системе единиц). Она позволяет получить связь между магнитным потоком и силой тока в контуре.

Физический смысл индуктивности:

$$L = \frac{\Phi}{I}.$$

Индуктивность зависит от формы и размеров контура, а также от числа витков в нём и не зависит от силы тока в контуре (кроме случая ферромагнетиков).

ЭДС самоиндукции:

$$\boxed{\mathcal{E}_c = -L\frac{dI}{dt}.}$$

Для контура, содержащего ферромагнетик (L зависит от силы тока):

$$\mathcal{E}_c = -\left(L\frac{dI}{dt} + I\frac{dL}{dt}\right).$$

14. Энергия и плотность энергии магнитного поля.

Энергия магнитного поля катушки с током:

$$\boxed{W = \frac{LI^2}{2}.}$$

$$W = \frac{LI^2}{2} = \frac{BHV}{2}.$$

$$L = \mu\mu_0 n^2 V,$$

Плотностью энергии называется энергия поля, приходящаяся на единицу объёма.

$$w = \frac{W}{V}.$$

Поле соленоида можно считать однородным, поэтому плотность энергии будет одинаковой всюду внутри соленоида.

$$w = \frac{W}{V} = \frac{BHV}{2V} = \frac{BH}{2}.$$

$$w = \frac{BH}{2} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}.$$

Это и есть плотность энергии магнитного поля.

Энергия магнитного поля показывает, какую работу затратил электрический ток в проводнике (катушке индуктивности) на создание **этого магнитного поля**. Естественно **эта энергия** будет напрямую зависеть от индуктивности проводника, вокруг которого **магнитное поле** создается. $W_м = \frac{L \cdot I}{2}$, L-индуктивность.

Плотностью энергии называется энергия поля, приходящаяся на единицу объёма.

$$w=\frac{W}{V}.$$

Поле соленоида можно считать однородным, поэтому плотность энергии будет одинаковой всюду внутри соленоида.

$$w=\frac{W}{V}=\frac{BHV}{2V}=\frac{BH}{2}.$$

$$\boxed{w=\frac{BH}{2}=\frac{\mu\mu_0 H^2}{2}.}$$

15. Трактовка Максвелла явления электромагнитной индукции. Ток смещения. Закон полного тока.

По Максвеллу, причиной возникновение ЭДС индукции является возникновение <u>вихревого</u> электрического при наличии изменяющегося магнитного потока.

При изменении магнитного потока с течением времени возникает <u>вихревое</u> электрическое поле, которое связано с наличием изменяющегося магнитного потока.

$$\mathcal{E}_{i1}=\oint_L\left(\vec{E}d\vec{\ell}\right)=-\frac{d\Phi}{dt}.$$

Применяя теорему Стокса, получаем:

$$\boxed{rot\vec{E}=-\frac{d\vec{B}}{dt}.}$$

Для установления количественных соотношений между изменяющимся электрическим полем и вызываемым им магнитным полем Максвелл ввел в рассмотрение <u>ток смещения</u>. Этот термин имеет смысл в таких веществах, как, например, диэлектрики. Там смещаются заряды под действием электрического поля. Но в вакууме зарядов нет – там смещаться нечему, а магнитное поле есть. То есть название Максвелла «ток смещения» – не совсем удачное, но смысл, вкладываемый в него Максвеллом, – правильный.

Ток смещения – величина, характеризующая переменное электрическое поле, порождающее вихревое магнитное поле, и прямо пропорциональная скорости изменения вектора электрического смещения.

Плотность тока смещения:

$$\vec{j}_c = \frac{i}{S}\vec{n} = \frac{d\vec{D}}{dt}.$$

Закон полного тока:

Полный ток можно представить, как сумму тока проводимости и тока смещения:

$$\vec{j} = \vec{j}_0 + \vec{j}_c = \vec{j}_0 + \frac{d\vec{D}}{dt}.$$

Полученное выражение справедливо для произвольной среды, в которой течёт ток.

Тогда теорему о циркуляции напряженности магнитного поля можно записать в следующем виде:

$$rot\vec{H} = \vec{j}_0 + \frac{d\vec{D}}{dt}.$$

И в интегральной форме:

$$\int_L \left(\vec{H}d\vec{\ell}\right) = \int_S \left(\vec{j}_0 d\vec{S}\right) + \frac{d}{dt}\int_S \left(\vec{D}d\vec{S}\right).$$

Это и есть закон полного тока. Смысл: источником вихревого магнитного поля являются токи проводимости и изменяющееся электрическое поле.

16. Фундаментальная система уравнений Максвелла для электромагнитного поля (в интегральной или дифференциальной формах). Материальные уравнения.

Дифференциальная форма.

$$\begin{cases} rot\vec{E} = -\dfrac{d\vec{B}}{dt}, \\ div\vec{B} = 0. \end{cases}$$

Первое уравнение. Закон электромагнитной индукции: изменяющееся во времени магнитное поле порождает вихревое электрическое поле.

Второе уравнение. В природе не существует точечных магнитных зарядов. Силовые линии магнитного поля замкнуты.

$$\begin{cases} rot\vec{H} = \vec{j} + \dfrac{d\vec{D}}{dt}, \\ div\vec{D} = \rho. \end{cases}$$

Первое уравнение. Закон полного тока: источником вихревого магнитного поля являются токи проводимости и изменяющееся электрическое поле.

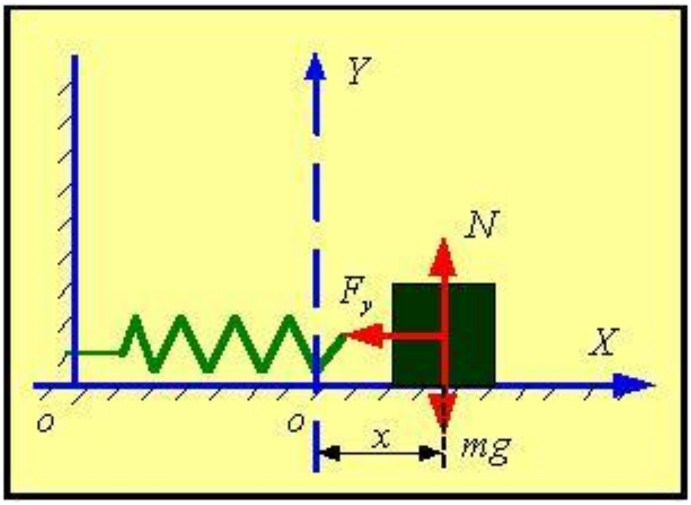
Второе уравнение. Источником электрического поля являются электрические заряды.

Материальные уравнения.

$$\begin{cases} \vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}, \\ \vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E}, \\ \vec{j} = \sigma\vec{E}. \end{cases}$$

Общий смысл: описывают связь величин, зависящих от свойств среды с величинами, не зависящими от свойств среды.
Устанавливают связь между величинами B, H, D, E, j, при этом учитывают индивидуальные свойства среды (проводимость, магнитную проницаемость, диэлектрическую проницаемость).

17. Гармонические колебания: уравнение гармонических колебаний, скорость, ускорение, энергия колебаний (на примере пружинного маятника).



Из рассмотрения сил, действующих на маятник, согласно второму закону Ньютона, можно получить следующее дифференциальное уравнение, описывающее гармонические колебания:

$$\frac{d^2x}{dt^2}+\frac{k}{m}x=0.$$

Его решением являются

$$x(t)=A\cos\left(\omega t+\varphi_0\right),$$

Или

$$x(t)=A\sin\left(\omega t+\varphi_0\right).$$

Гармоническими колебаниями называют такой периодический процесс, в котором изменение наблюдаемой величины происходит по гармоническому закону, т.е. по закону косинуса (или синуса).
Взяв первую и вторую производную, получаем скорость и ускорение при гармонических колебаниях соответственно:

$$V_x(t) = x_t' = -\omega A \sin(\omega t + \varphi_0).$$

$$a_x(t) = V_{xt}' = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Полная механическая энергия пружинного маятника
E = W + Ek,
где W – потенциальная энергия маятника, Ek - кинетическая.
Потенциальная энергия

$$W = \frac{kx^2}{2}.$$

Кинетическая энергия:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Преобразовав выражение для потенциальной энергии груза, получаем:

$$W = \frac{W_0}{2} + \frac{W_0}{2} \cos 2\omega t.$$

Таким образом, потенциальная энергия груза всегда положительна и совершает гармонические колебания с частотой
$\boldsymbol{\Omega = 2\omega}$**.**

Аналогично для кинетической энергии

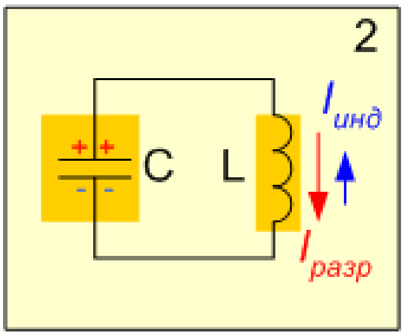
$$E_k = \frac{mV_0^2}{2} \sin^2 \omega t = \frac{mV_0^2}{4} - \frac{mV_0^2}{4} \cos 2\omega t.$$

Таким образом, кинетическая энергия груза совершает гармонические колебания с частотой $\Omega = 2\omega$.

Однако, полная механическая энергия пружинного маятника при гармонических колебаниях всегда одинакова.

18. Идеальный колебательный контур. Дифференциальное уравнение колебаний. Энергия в идеальном колебательном контуре

Идеальный колебательный контур — электрическая цепь, состоящая из катушки индуктивностью L и конденсатора емкостью C. В отличие от реального колебательного контура, который обладает электрическим сопротивлением R, электрическое сопротивление идеального контура принимают равной нулю.



$$U + \varepsilon = 0, \quad \varepsilon = -L\frac{di}{dt},$$

$$U - L\frac{di}{dt} = 0. \quad U = \frac{q}{C},$$

Дифференциальное уравнение колебаний:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0. \quad \text{, где} \quad \omega^2 = \frac{1}{LC}.$$

Полученное уравнение аналогично уравнениям колебаний пружинного маятника, математического маятника и т.д. Его решением тоже должна быть гармоническая функция:

$$q(t) = q_0\cos(\omega t + \varphi_0)$$

Напряжение на конденсаторе изменяется по закону:

$$U = U_0\cos(\omega t + \varphi_0)$$

Потенциальная энергия электрического поля конденсатора:

$$W_{эл} = \frac{CU_0^2}{2}\cos^2(\omega t + \varphi_0).$$

Сила тока в катушке изменяется по закону:

$$i = i_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Потенциальная энергия магнитного поля катушки:

$$W_{маг} = \frac{Li_0^2}{2}\sin^2(\omega t + \varphi_0).$$

Однако полная энергия системы постоянна:

$$E = W_{эл} + W_{маг} = const\ .$$

19. Упругие волны. Волновой вектор. Фазовая скорость. Волновое уравнение и его решение.

Волной называется процесс распространения колебаний в пространстве с течением времени

Упру́гие во́лны — волны, распространяющиеся в жидких, твёрдых и газообразных средах за счёт действия упругих сил. При распространении таких волн в среде перемещаются малые упругие колебания.

Волновой вектор — вектор, направление которого перпендикулярно фазовому фронту бегущей волны, а абсолютное значение равно волновому числу:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\frac{\omega}{c} = k,\ \vec{k} = \left(\frac{\omega}{c_x}\vec{e}_x + \frac{\omega}{c_y}\vec{e}_y + \frac{\omega}{c_z}\vec{e}_z\right).$$

Фазовая скорость — есть скорость перемещения поверхности постоянной фазы (эта скорость эквивалентна скорость распространения волны):

$$\boxed{c = \frac{dx}{dt}.}\ d\varphi = \omega dt - \frac{\omega}{c}dx = 0.$$

Волновое уравнение:

$$\Delta\xi = \frac{1}{c^2}\frac{d^2\xi}{dt^2}.$$

$$\Delta \equiv \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}$$ – оператор Лапласа,

Уравнение плоской волны является его решением:

$$\boxed{\xi(x,t) = ACos\left(\omega t - \left(\vec{k}\vec{r}\right) + \alpha\right).}$$

20. Электромагнитные волны и их свойства. Вектор Умова-Пойтинга.

Одним из следствий уравнений Максвелла является наличие электромагнитных волн, представляющих собой колебания напряженностей электрического и магнитного полей, распространяющихся в пространстве со скоростью:

В вакууме:

$$v = c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} \approx 2{,}997764\cdot 10^8\left(\frac{м}{с}\right).$$

В любой диэлектрической среде:

$$v = c = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{n},$$

n – показатель преломления среды.

Свойства:

1) Электромагнитная волна является волной **поперечной**.
2) Амплитудные значения E и H связаны соотношением:

Колебания векторов $\vec{E}$ и $\vec{H}$ происходят с одинаковой фазой, векторы $\vec{E}$ и $\vec{H}$ связаны количественным соотношением

$$\boxed{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0}E_y = \sqrt{\mu\mu_0}H_z}$$

Вектор Умова-Поинтинга:

Энергия ЭМВ, проходящая через единицу площади в единицу времени, равна **модулю вектора Умова – Пойнтинга**.

$$\boxed{S = \frac{W}{\Omega t},}$$

Для ЭМВ модуль этого вектора может быть записан как:

$$\boxed{\frac{W}{\Omega t} = \left|\left[\vec{E}, \vec{H}\right]\right| = \left|\vec{S}\right|.}$$

При этом его направление указывает направление распространения волнового фронта ЭМВ.

21. Интерференция света. Интерференционные min и max. Когерентность световых волн.

Интерференции – это перераспределение интенсивности световых волн в пространстве при наложении 2-х или более **когерентных** волн**.**

Когерентные волы – это волны, разность фаз которых с течением времени в данной точке пространства не меняется**.**

$$\boxed{(\varphi_2 - \varphi_1) = \delta = (\omega_2 - \omega_1) + (\vec{k}_1\vec{r}_1 - \vec{k}_2\vec{r}_2) + (\alpha_2 - \alpha_1)}$$

Условия **max** и **min** для интерференционного члена:

$$\boxed{\Delta_{max} = \pm 2m\frac{\lambda}{2}}$$

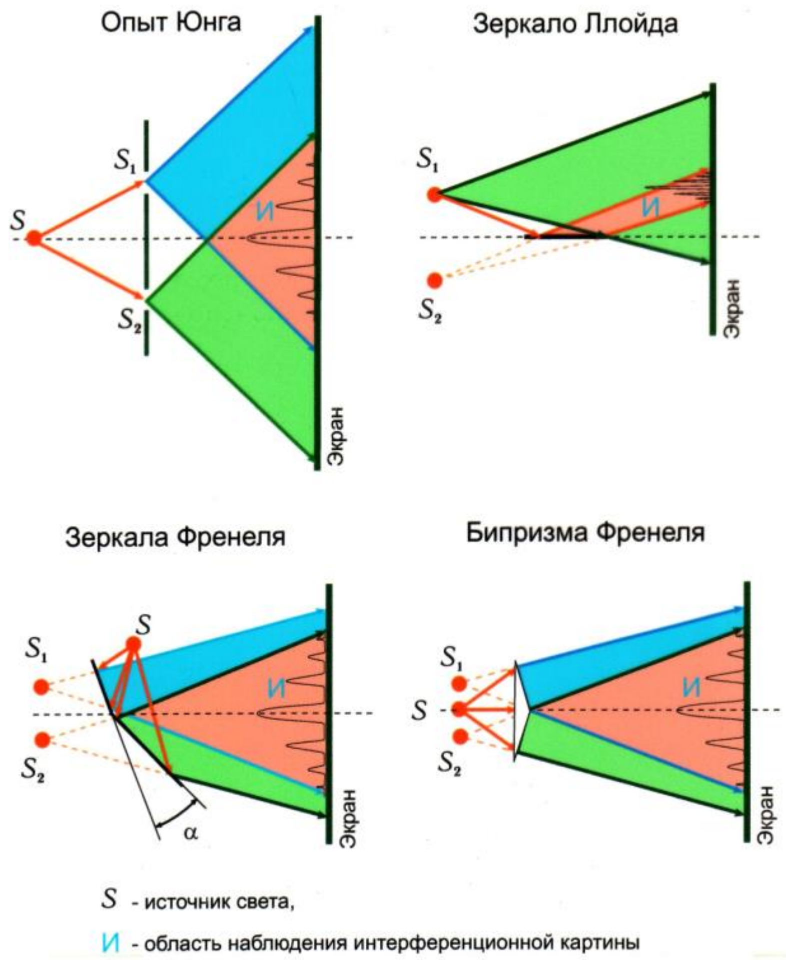
- оптическая разность хода равна <u>четному</u> числу полуволн.

$$\boxed{\Delta_{min} = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2}}$$

- оптическая разность хода равна <u>нечетному</u> числу полуволн

где $(l_1 n_1 - l_2 n_2) = \Delta$ - оптическая разность хода

Способы получения когерентных волн:



22. Дифракция света. Дифракционная решетка.

Дифракция - любые оптические явления, связанные с распространением света в средах с резко выраженными неоднородностями, когда размеры неоднородностей сравнимы с длиной волны.

Суть дифракции - огибание световыми волнами препятствий и их последующая интерференция, сопровождающаяся проникновением света в область геометрической тени.

Дифракционная решётка — оптический прибор, действие которого основано на использовании явления дифракции света. Представляет собой совокупность большого числа регулярно расположенных штрихов (щелей, выступов), нанесённых на некоторую поверхность.

При прохождении через дифракционную решетку происходит дифракция и интерференция света, в результате на экране появляются полосы минимумов и максимумов, их положение определяется следующими формулами:

a – ширина щели, b – межщелевое расстояние, $a + b = d$ – период решетки, N – общее число щелей.

Главные минимумы: $\boxed{a\sin\varphi = \pm\kappa\lambda,}$ $\kappa = 1, 2, 3...$

Далее, при переходе от одной щели к другой наблюдается разность хода:

$$\Delta = d\sin\varphi$$

Положение главных максимумов:

m − порядок главного максимума.

$$\boxed{d\sin\varphi = \pm m\lambda,} \quad m = 0, \pm 1, \pm 2...$$

23. Поляризации света. Закон Брюстера. Закон Малюса.

Поляризованным называется свет, в котором направления колебаний светового вектора упорядочены каким-либо образом.

В зависимости от разности фаз между вертикальной и горизонтальной составляющей светового вектора выделяют следующие виды поляризации:

Линейная поляризация

Эллиптическая поляризация (свет называют частично поляризованным).

Круговая (циркулярная) поляризация.

При падении естественного света на поверхность раздела двух сред при определенном угле падения α, при котором сумма угла падения и угла отражения равна α + β = π/2, отражённая волна линейно поляризована так, что вектор E лежит в плоскости раздела сред и перпендикулярен плоскости падения, называется **углом Брюстера**. При этом

$$\boxed{\alpha_Б = arctg\frac{n_2}{n_1}.}$$

Закон Малюса показывает, как изменяется интенсивность линейно поляризованного света при прохождении поляризатора:

$$\boxed{I_1 = I_0 \cos^2 \alpha.}$$

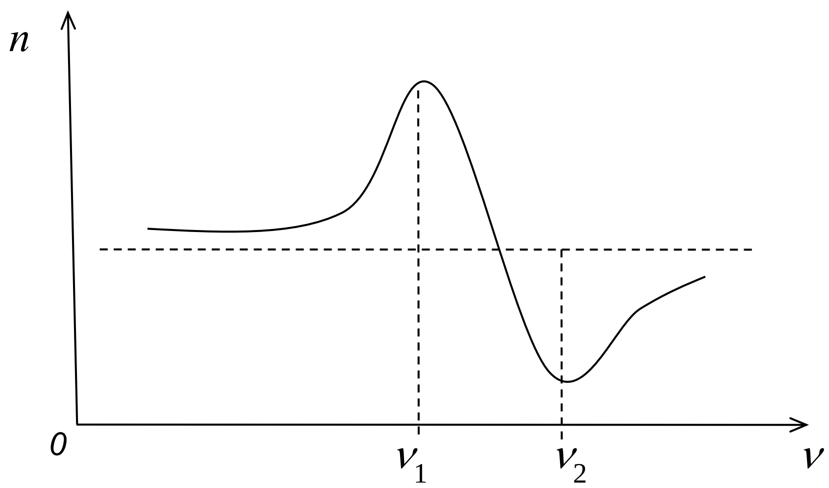
24. Дисперсия света. Нормальная и аномальная дисперсии.

Дисперсией света называется явления, обусловленные зависимостью показателя преломления вещества от длины световой волны (частоты). Эту зависимость можно охарактеризовать функцией:

$$n = f(\lambda),$$

Дисперсией вещества называется:

$$D = \frac{dn}{d\lambda} \quad \text{или} \quad D = \frac{dn}{d\nu}$$



В области, где $\dfrac{dn}{dv} > 0$, дисперсию называют **нормальной**

$0 < v < v_1$ и $v > v_2$.

В области, где $\dfrac{dn}{dv} < 0,$ дисперсия **аномальная**

$v_1 < v < v_2$

25. Тепловое излучение. Формула Рэлея-Джинса. Формула Планка.

Тепловое излучение - Эл.-магн. излучение, возникающее за счет внутренней энергии тела и зависящее только от температуры и оптических свойств тела.

1) ***Энергетическая светимость*** $R_э$– величина, численно равная энергии, испускаемой единицей поверхности излучающего тела по всем направлениям во всем диапазоне частот в единицу времени, зависящая только от температуры.
2) **Спектральная плотность энергетической светимости**:

$$\boxed{r_{\omega,T} = \frac{dR_\omega}{d\omega},}$$

Есть функция частоты и температуры. т.е. это мощность излучения с ед. площади в интервале частот ед. ширины.

3) Поглощательная способность тела
   $a_{\omega,T}$ – коэффициент поглощения, безразмерная величина, функция частоты и температуры, показывает какая часть падающего на поверхность тела излучения поглощается за ед. времени с ед. площади в интервале частот.

Формула Рэлея- Джинса:

$$\boxed{r(\omega,T) = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} kT}$$

Это формула распределения энергии теплового излучения по всему спектру Она была получена методами статистической физики и была первой попыткой решить проблему теплового излучения. Однако, она противоречила экспериментальным данным, и особенно в случае перехода к большим частотам. Кроме того, формула допускала монотонное возрастание спектральной плотности вместе с частотой, что приводило к абсурдным результатам – общая энергетическая светимость обращалась в бесконечность.

Поэтому М. Планк установил вид функции $r_{\omega,T}$, точно соответствующий опытным данным:

$$\boxed{r(\omega,T) = \frac{\hbar\omega^3}{\pi^2 c^3} \cdot \frac{1}{\exp(\hbar\omega / kT) - 1}}$$

Основная идея: электромагнитное излучение испускается в виде отдельных порций энергии (квантов) величина которых пропорциональна частоте излучения: $\varepsilon = \hbar\omega$

26. Корпускулярно-волновой дуализм света. Фотоэффект.

Корпускулярно-волновой дуализм (или квантово-волновой дуализм) — свойство природы, состоящее в том, что материальные микроскопические объекты могут при одних условиях проявлять свойства классических волн, а при других — свойства классических частиц.

Фотоэффектом называется испускание электронов веществом под действием света.

Столетов экспериментально открыл три закона, описывающих явление фотоэффекта, однако четкое количественное соотношение было сформулировано с помощью уравнения Эйнштейна. Используя Гипотезу Планка о квантовой природе света Энштейн предположил, что свет существует только в виде квантованных порций (с энергией E = hν) и получил следующее уравнение:

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$\boxed{h\nu = A_{вых} + \frac{m\upsilon_{max}^2}{2}} \quad h\nu_0 = A_{выч}$$

Работы выхода – та минимальная энергия, которую надо сообщить электрону, чтобы он удалился из объема твердого тела и зависит от химических природы вещества.

27. Фотон и его характеристики. Давление света.

Фотон – элементарная частица квант электромагнитного излучения.

Используя формулу для энергии фотона:

E = hν

а также релятивистское соотношение между массой и энергией:

$$E = mc^2.$$

Мы можем получить следующие корпускулярные характеристики фотона (связанные с его волновой характеристикой - частатой):

1) Масса фотона: $m = E / c^2 = h\nu / c^2$.

(Существенное отличие массы фотона от обычной заключается в том, что фотон не имеет массы покоя: он всегда движется со скоростью света)

2) Импульс фотона: $p = E / c = h\nu / c$ который может быть представлен как векторная величина:

$$\vec{p} = h\vec{k} / 2\pi.$$

Давление света — давление, которое оказывает световое (и вообще электромагнитное) излучение, падающее на поверхность тела.

Принимая фотоны за малые классические частицы, мы можем вычислить какое давление оказывает свет на поверхность тела:

$$P = \frac{2h\nu Rn}{c} + (1 - R)\frac{h\nu n}{c} = \frac{nh\nu}{c}(1 + R) = \frac{E}{c}(1 + R) = W(1 + R)$$

Где $W = \frac{E}{c}$ - объемная плотность энергии.

28. Гипотеза де Бройля. Волна де Бройля. Волновая функция, ее физический смысл и свойства. Условие нормировки.

В 1924 году Луи-де-Бройль выдвинул гипотезу о том, что корпускулярно-волновой дуализм не является особенностью одних только оптических явлений, но имеет универсальное значение : любые частицы вещества наряду с корпускулярными свойствами имеют также и волновые.

По идее де- Бройля, движение электрона или какой- либо другой частицы связано с волновым процессом, **длина волны** которого равна:

$$\boxed{\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\upsilon}}$$

Данная гипотеза подтверждается экспериментами.

Состояние физической системы в квантовой механике описывается волновой функцией:

$$\psi(x_1, x_2, x_3, \ldots x_n, t),$$

Она является комплексозначной функцией.

Её физический смысл: квадрат этой функции является плотностью вероятности обнаружить состояние квантовой системы в интервала координат:

вероятность того, что значение координаты x_1 лежит в интервале от x_1 до $x_1 + dx_1,$ координаты x_2 лежит в интервале от x_2 до $x_2 + dx_2,$

....

координаты x_n лежит в интервале от x_n до $x_n + dx_n$

(Простое описание): Квадрат функции является плотностью вероятности нахождения квантовой системы в определённом состоянии. (в заданных интервалах координат).

Свойства ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ

1) **Конечность**. Ни при каких значениях координат она не должна обращаться в бесконечность.
2) **Непрерывность**. Волновая функция не должна иметь точек, в которых она терпит разрыв.
3) **Однозначность**. Каждому набору значений аргументов должно соответствовать одно определенное значение волновой функции.

Условие нормировки волновой функции (как для плотности вероятности):

$$\boxed{W = \int_{-\infty}^{+\infty} |\Psi|^2 \, dV = 1}$$

Оно служит для определения постоянного множителя, входящего в волновую функцию.

29. Принцип неопределенности Гейзенберга-Бора. Принцип причинности в квантовой механике. Уравнение Шредингера.

Принцип **неопределенности Гейзенберга-Бора:**

В квантовомеханических системах микрочастица не может иметь одновременно точные значения координаты x и соответствующие этой координате составляющую импульса Px. Их погрешности связаны соотношением:

$$\boxed{\Delta x \cdot \Delta P_x \geq \hbar}$$

Говорят, что импульс и положение частицы являются сопряжёнными величинами. Аналогичными сопряжёнными величинами в квантовой механике являются энергия и время:

$$\boxed{\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar}$$

Принцип причинности в классической механике требует, чтобы состояние физической системы в некоторый момент времени определялось состоянием её в момент времени t.

В квантовой механике **принцип причинности** требует, чтобы волновой функцией, характеризующая состояние системы частиц в данный момент, определяла и дальнейшее развитие системы, т.е. по известной волновой функции $\psi(x,t)$ в момент времени t можно найти функцию $\psi(x,t+\Delta t)$ в момент времени, бесконечно близкий к начальному. (Однако по волновой функции мы можем получить лишь вероятностную характеристику системы).

Уравнением, описывающим эволюцию волновой функции, является **уравнение Шредингера**:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi + U(x,y,z,t)\psi = i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}$$

30. Свободное движение квантовомеханической частицы.

Рассматривая решения уравнения Шредингера для случая свобдного движения квантомеханической частицы (полная энергия = кинетической, $\vec{V} = const.$). Мы можем получить, что:

Волновая функция для частицы представляет собой суперпозицию двух монохроматических волн одинаковой частоты $\omega = \dfrac{E}{\hbar}$, распространяющихся одна в положительном направлении оси x с амплитудой A, другая в отрицательном направлении с амплитудой B.

При этом волновое число равно:

$$k = \sqrt{2mE}\Big/\hbar$$

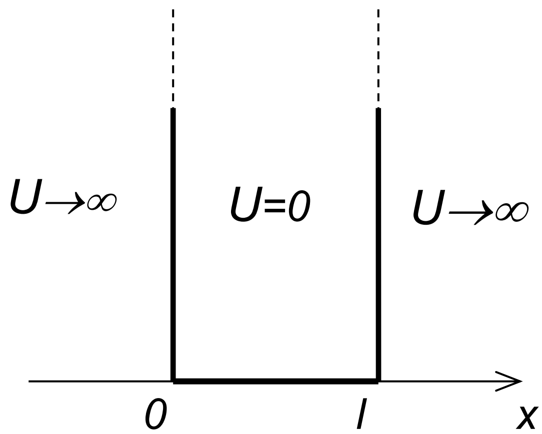
Свободная частица описывается плоской монохроматической **волной де Бройля** с непрерывным спектром. Этому соответствует независящая от времени вероятность обнаружить частицу данной точке пространства.

Бонус:

$$\psi(x,y,z,t) = A\exp\left[-i\left(\frac{E}{\hbar}\cdot t - \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}x\right)\right] + B\exp\left[-i\left(\frac{E}{\hbar}\cdot t + \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}x\right)\right] \qquad (5)$$

31. Частица в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Квантование энергии.

Рассмотрим движение частицы в одномерной потенциальной яме:



Потенциальное поле в зависимости от координаты x задано условиями изменения потенциальной энергии:

$$U(x) = \begin{cases} \infty & \text{при} \quad \mathrm{x} < 0, \\ 0 & \text{при} \quad 0 \le \mathrm{x} \le \ell, \\ \infty & \text{при} \quad \mathrm{x} > \ell. \end{cases}$$

Волновая функция $\psi(x)$, описывающая поведение частицы вне потенциальной ямы, всюду равна нулю $\psi(x)=0$. (т.к. частица не может иметь бесконечно большую энергию)

В пределах же потенциальной ямы волновая функция имеет вид:

$$\boxed{\psi_n = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi n}{l} \cdot x}$$

Рассматривая условия непрерывности волновой функции на правой границе мы можем получить:

$$kl = n\pi, \quad \boxed{k^2 = \frac{2mE}{\hbar^2},}$$

И отсюда следует:

$$\boxed{E_n = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2ml^2} \cdot n^2}$$

Энергия, в отличии от классического случая, принимает только квантованные значения.

n - собственное число данной квантовомеханической задачи. Оно определяет значение полной энергии частицы и называется главным квантовым числом.

32. Квантовый гармонический осциллятор.

Квантовым гармоническим осциллятором называется квантовая частица, находящаяся в потенциальном силовом поле и обладающая потенциальной энергией:

$$U = \frac{kx^2}{2}$$

(---)

Рассматривая уравнения Шредингера для стационарного состояния для данного случая и накладывая условия конечности, непрерывности и однозначности решений мы можем получить: что решения возможны ли для значений E равных:

$$\boxed{E_n = (n + \frac{1}{2})\hbar\omega_0,}$$

Т.е.

1) Энергия квантового осциллятора может иметь лишь дискретные значения, т.е. спектр энергии дискретен.

2) Существует нулевой уровень энергии при $n = 0$ $\boxed{E_0 = 1/2 \cdot \hbar\omega_0.}$

3) Разность энергий двух соседних состояний квантового осциллятора определяется формулой $\Delta E = \hbar\omega_0.$, т.е. при переходах между состояниями с разной энергией осциллятор получает или поглощает энергию квантами.

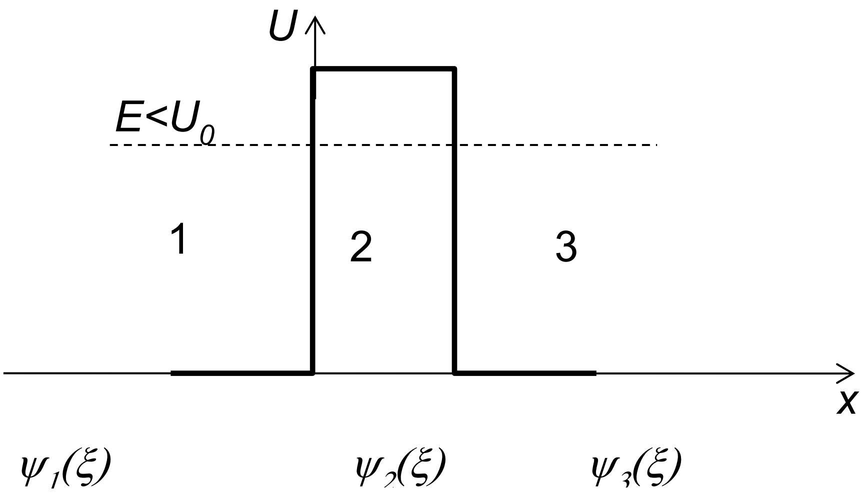
При приближении к классическому случаю:

$$\omega << 1 \Rightarrow \Delta E \to 0$$ (энергия становится непрерывной)

33. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.

Рассмотрим потенциальный барьер прямоугольной формы:

$$U(x) = \begin{cases} 0,\ x < 0 & (1) \\ U,\ 0 \le x \le L & (2) \\ 0,\ x > L & (3) \end{cases}$$

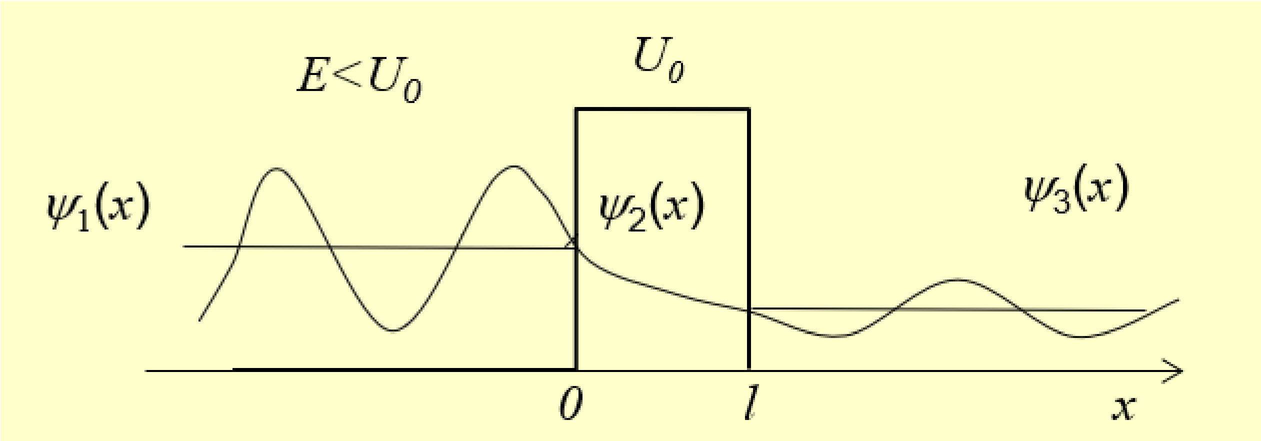


В случае классической частицы, если E < U – частица отразится и будет двигаться в обратную сторону, т.е. не перейдет.

В случае же квантовомеханической частицы:

При E < U с вероятностью отличной от нуля частица может оказаться в области x > L; т.е. пройти через потенциальный барьер

Решая уравнение Шредингера для случая потенциального барьера, мы можем получить следующую волновую функцию для квантовой частицы:



Из рис. следует, что волновая функция не равна нулю внутри барьера, а если барьер не очень широк, то до и после него волновая функция будет иметь вид волны де Бройля с одинаковой полной энергией, но с меньшей амплитудой.

Явление, в результате которого микрочастица может “пройти” сквозь потенциальный барьер, называется туннельный эффект.

Вероятность прохождения частицы через потенциальный барьер зависит от:

а) ширины барьера – *l;*

б) превышением над *E,* т.е. от (*U*0 - *E*);

в) от массы частицы *m*.

34. Постулаты Бора. Модель атома водорода по Бору.

1. Постулат стационарных состояний.

Существуют некоторые стационарные состояния атома, находясь в которых он не излучает энергии.

2. Постулат о квантовании орбит.

В стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, должен иметь квантовые значения момента импульса, удовлетворяющие условию:

$$L_n = m\upsilon r = n\cdot\hbar,\ \text{где}\ n = 1, 2, 3, \ldots$$

- главное квантовое число, m- масса электрона, v - его скорость на орбите радиусом *r*.

Физический смысл постулата: целое число n равно числу длин волн де Бройля движущегося электрона, укладывающихся на длине круговой орбиты(т.е. электрон проявляет волновые свойства!)

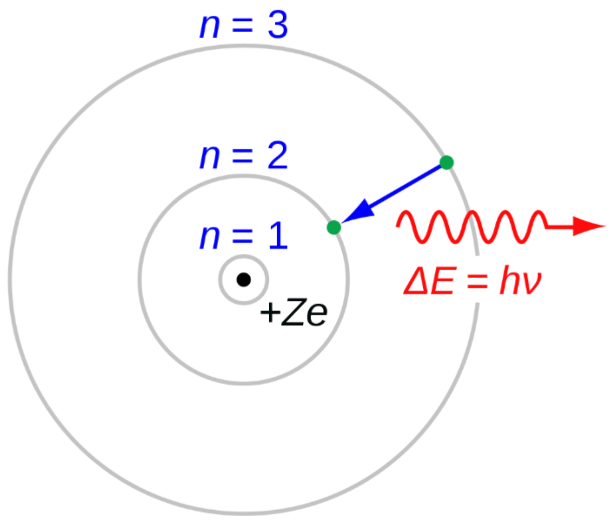
3. Правило частот. При переходе атома из одного стационарного состояния в другое испускается или поглощается один квант энергии

$$W_2 - W_1 = \Delta W = h\nu,$$

$W_2 -$ энергия электрона в атоме после перехода;

$W_1 -$ энергия до перехода.

Боровская модель атома:



За основу взята классическая планетарная модель атома, однако электроны в атоме могут двигаться только по определённым стационарным орбиталям, находясь в которых они не излучают и не поглощают энергию.

35. Квантовомеханическая модель атома водорода. Принцип Паули.

Согласно квантово-механической теории, электроны в процессе своего движения в атоме формируют электронное облако - модель состояния электрона в атоме. При этом данное облако является волновой функцией электрона, описывающей вероятность нахождения электрона в данной области атома.

Состояние электрона в атоме описывается четырьмя квантовыми числами: главным n, азимутальным l, магнитным m_l и спиновым m_s. Физический смысл данных чисел можно получить, рассматривая решения уравнений Шредингера для электрона в потенциальном поле ядра атома.

Принцип Паули. В одном и том же атоме не может быть двух электронов в стационарном состоянии, обладающих одинаковой совокупностью четырех квантовых чисел.

Следствие: в состояниях с данным значением n могут находиться в атоме не более $2n^2$ электронов.

Таким образом, принцип Паули объясняет периодическую повторяемость свойств атомов.

Варинант 2:

Согласно квантово-механической теории, электроны в атоме описываются волновой функцией. Рассматривая решение уравнений Шредингера для случая кулоновского потенциального поля:

36. Периодическая система элементов.

Периодическая система обусловлена повторяемостью свойств химических элементов, которая, в свою очередь, обусловлена определенной периодичностью структуры электронных оболочек атомов. При этом, повторяемость данных оболочек атомов следует из квантовых свойств электронов (орбитали которых описываются четырьмя квантовыми числами), а также из принципа Паули, согласно которому электроны не могут быть одновременно в одном и том же состоянии: в любой момент времени любое возможное состояние либо вакантно, либо занято одной частицей.

Из-за принципа Паули электроны будут занимать различные «орбиты», различающиеся наборами квантовых чисел.