ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТИЗМА И ВОЛН. МАГЛНИТНОЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЯ

Редактировать в WPS Office

ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Области применения электромагнитизма и волн.
- Магнитное и электрическое поля.

Редактировать в WPS Office

Теория электромагнитного поля изучает физические явления и процессы, происходящие в электромагнитном поле, и инженерные методы расчета этих процессов. Эти явления и процессы лежат в основе действия большого числа различных электромагнитных и электронных приборов и устройств, широко применяемых на практике. К ним могут быть отнесены электрические машины и аппараты, электроэнергетические установки для передачи электрической энергии, электромагнитные
и электронные элементы автоматики, средства передачи информации, устройства электрометаллургии, а также оборудование, предназначенное для исследования электромагнитных полей биологических объектов, искусственного интеллекта и многие др.

Редактировать в WPS Office

Изучение теории электромагнитного поля не только расширяет физические представления о поле, дает возможность проектировать различные практические устройства, но и способствует формированию у студентов современного мировоззрения.

Теория электромагнитного поля – теоретическая дисциплина,

т. е. базисная для целого ряда других дисциплин радиотехники, радиолокации, электрических машин и др.

Редактировать в WPS Office

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ – РАЗЛИЧНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЕДИНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.

Все электромагнитные процессы есть процессы преобразования и распространения электромагнитного поля. В теории цепей исследование процессов преобразования энергии осуществляют при помощи уравнений в интегральной форме и интегральных понятий: тока *I*, напряжения *U*, мощности *P*, магнитного потока Ф, которые характеризуют, как правило, целые участки или области электромагнитного поля. Теория электромагнитного поля позволяет рассматривать процессы в электромагнитном поле в каждой точке пространства.

Редактировать в WPS Office

С помощью теории электромагнитного поля определяют параметры элементов электрических цепей (емкости, индуктивности, взаимные индуктивности, параметры электрических машин и многочисленных электромагнитных механизмов для цепей автоматики, телемеханики, электрической связи и т. д.), объясняют процессы распространения электромагнитных волн, электрические и магнитные поверхностные эффекты, эффекты близости и экранирования.

Редактировать в WPS Office

ОСНОВНЫЕ ВЕКТОРНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Редактировать в WPS Office

ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Вектор напряженности электрического поля.
- Вектор магнитной индукции.

Редактировать в WPS Office

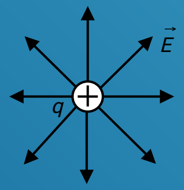
Вектор напряженности электрического поля – $\vec{E}$

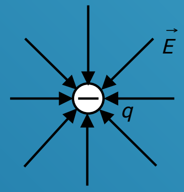
Напряженность электрического поля равна пределу отношения силы, действующей со стороны поля на внесенный в него точечный заряд, к величине заряда, когда последний стремится к нулю:

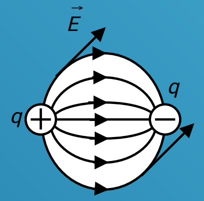
$$\vec{E} = \lim_{q \to 0} \frac{\vec{F}}{q}.$$

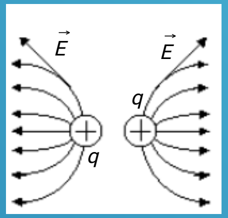
Редактировать в WPS Office

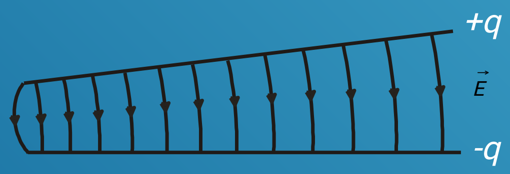
Электростатическое поле











Редактировать в WPS Office

Вектор магнитной индукции $\vec{B}$

Его определяют из силового воздействия магнитного поля на движущийся заряд или проводник с током. Опытным путем установлено, что

$$\Delta F = I\Delta l B \sin 90^\circ = I\Delta l B.$$

Размерность

$$[B] = \frac{[F]}{[I \cdot l]} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Дж/м}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В А с}}{\text{А} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} = \text{Тл}.$$

Вектор электрического смещения $\vec{D}$

$$\vec{D}_0 = \varepsilon_0 \vec{E}.$$

Вектор напряженности магнитного поля

$$\overline{B_0} = \mu_0 \overleftarrow{H}.$$

Редактировать в WPS Office

ВТОРОЕ УРАВНЕНИЕ МАКСВЕЛЛА В ДИФФЕРНЦИАЛЬНОЙ ФОРМЕ

Редактировать в WPS Office

ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Фарадеевская концепция поля.
- Второе уравнение Максвелла в диффернциальной форме.

Редактировать в WPS Office

Фарадеевская концепция поля.

До того как Максвелл записал свои великие уравнения, существовало две теории электричества: теория «силовых линий» Фарадея и теория, разработанная французами Кулоном, Ампером, Био, Саваром, Араго
и Лапласом. Исходная точка французов – представление о так называемом «дальнодействии», мгновенном действии одного тела на другое на расстоянии без помощи какой-либо промежуточной среды.

Теории великих французов были прекрасно математически обработаны, и, в общем, выстраивались в довольно изящную и цельную теорию.

Редактировать в WPS Office

Воззрения Фарадея в корне расходились с такими представлениями. Он не был силен в математике. По словам Эйнштейна, это был «ум, который никогда не погрязал в формулах».

Фарадей считал, что материя не может действовать там, где ее нет. Следовательно, область действия зарядов должна быть заполнена материей. Среду, через которую передается воздействие, Фарадей назвал «полем». Поле, считал он, пронизано магнитными
и электрическими «силовыми линиями».

Редактировать в WPS Office

Второе уравнение Максвелла в диффернциальной форме.

Другой сразу же завоевавшей признание Максвелла идеей стало представление Фарадея о природе электромагнитной индукции – то есть возникновении электричества в контуре, число магнитных силовых линий в котором изменяется то ли вследствие относительного движения контура и магнита, то ли вследствие изменения магнитного поля. Эта зависимость также вполне укладывалась во внешне формальные математические операции. После многолетних трудов Максвелл записал строку:

$$\mathrm{rot}\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

Редактировать в WPS Office

ТЕОРИЯ МАКСВЕЛЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Редактировать в WPS Office

ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Предистория создания максвелловской теории электромагнитного поля.
- Теория максвелла электромагнитного поля.

Редактировать в WPS Office

Предистория создания максвелловской теории электромагнитного поля

Максвелл присоединился к Фарадеевской концепции поля. Он видел, что Фарадей постепенно отходит от силовых линий как геометрических символов к вполне реальным силовым линиям, обладающим, например, упругостью, стремящимся пойти по кратчайшему пути, отталкивающимся друг от друга.

Максвеллу нравилось, что Фарадей признавал рациональное зерно, имеющееся в работах чуждых ему по духу и манере исследователей, например, Ампера. Так, он целиком принимал идею кругового магнитного поля, окружающего провод с электрическим током. Максвелл записал этот тезис в форме уравнения:

$$\mathrm{rot}\vec{H} = \frac{4\pi}{c}\vec{j}$$

где $\vec{H}$ – вектор напряженности магнитного поля,

$\vec{j}$ – вектор плотности электрического тока,

c – некоторая постоянная.

Редактировать в WPS Office

Теория максвелла электромагнитного поля.

Максвелл дописал к двум имеющимся уравнениям еще два:

$$\mathrm{div}\,\vec{D} = 4\pi\rho, \qquad \mathrm{div}\,\vec{B} = 0.$$

Эти четыре уравнения и составляют «великие уравнения Максвелла», а система взглядов, которая легла в основу уравнений, получила название «максвелловой теории электромагнитного поля».

Редактировать в WPS Office

ПОЛНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Редактировать в WPS Office

ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Полная система уравнений электромагнитного поля в пустоте.
- Полная система уравнений электромагнитного поля в обычной среде.

Редактировать в WPS Office

Полная система уравнений электромагнитного поля в пустоте

Полная система уравнений электромагнитного поля в пустоте имеет вид

$$\operatorname{rot}\boldsymbol{H} = \boldsymbol{\delta}; \quad \operatorname{rot}\boldsymbol{E} = -\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}; \quad \boldsymbol{\delta} = \frac{\partial \boldsymbol{D}}{\partial t} + \rho \boldsymbol{v};$$

$$\boldsymbol{D} = \varepsilon_0 \boldsymbol{E}; \quad \boldsymbol{B} = \mu_0 \boldsymbol{H}; \quad \operatorname{div}\boldsymbol{D} = \rho; \quad \operatorname{div}\boldsymbol{B} = 0.$$

Редактировать в WPS Office

Полная система уравнений электромагнитного поля в обычной среде

Полная система уравнений электромагнитного поля в обычной среде имеет вид

$$\operatorname{rot} \boldsymbol{H} = \delta; \quad \operatorname{rot} \boldsymbol{E} = -\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}; \quad \delta = \gamma \boldsymbol{E} + \frac{\partial \boldsymbol{D}}{\partial t} + \boldsymbol{J}_{\text{пер}};$$

$$\boldsymbol{D} = \varepsilon \boldsymbol{E}; \quad \boldsymbol{B} = \mu \boldsymbol{H}; \quad \operatorname{div} \boldsymbol{D} = \rho; \quad \operatorname{div} \boldsymbol{B} = 0.$$

Плотность тока для общности выражена в виде суммы трех составляющих. При этом надо иметь в виду, что по самому смыслу первой и третьей составляющих они не могут иметь места в одной и той же точке пространства одновременно. Две первые составляющие могут быть одновременно в полупроводящей среде. Однако в хорошо проводящих веществах всегда можно пренебречь второй составляющей по сравнению с первой и в диэлектриках обычно можно пренебречь первой составляющей по сравнению со второй.

Редактировать в WPS Office

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Редактировать в WPS Office

ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Безвихревой характер электростатического поля.
- Градиент электрического потенциала.

Редактировать в WPS Office

Безвихревой характер электростатического поля

Электростатическое поле - электрическое поле системы неподвижных относительно наблюдателя заряженных тел при отсутствии электрических токов.

Если в системе нет намагниченных тел, то магнитное поле отсутствует. Следовательно, всюду

$$J = 0; B = 0; \quad H = 0.$$

Наличие в электрическом поле свободных распределенных в объеме зарядов привело бы к возникновению электрического тока. Поэтому предположение, что $J = 0$, ведет к заключению, что всюду $p = 0$. Могут быть только заряды, распределенные по поверхностям заряженных тел.

Из системы уравнений электромагнитного поля остается следующая совокупность:

Редактировать в WPS Office

$$\mathrm{rot}\, E = 0; \; D = s\, E; \quad \mathrm{div} D = 0.$$

Условие rot *E* = 0 свидетельствует, что *электростатическое поле имеет безвихревой характер.* Поле, удовлетворяющее этому условию, называют безвихревым. Согласно теореме Стокса, для любого замкнутого контура имеем

$$\oint_l \mathbf{E}\, d\mathbf{l} = \int_s \mathrm{rot}\, \mathbf{E}\, d\mathbf{s} = 0.$$

Таким образом, условие rot *E* = 0 выражает в дифференциальной форме ранее высказанное важное положение: в электростатическом поле линейный интеграл вектора *E* вдоль любого замкнутого контура равен нулю.

Редактировать в WPS Office

Градиент электрического потенциала

Производная от потенциала по координате имеет наибольшее значение в направлении, нормальном к поверхности равного потенциала и противоположном направлению вектора *E.* Это наибольшее значение производной может быть изображено вектором, направленным против вектора *E* и носящим название градиента электрического потенциала. Его обозначают символом grad *U.*

Градиент потенциала равен приращению потенциала, отнесенному к единице длины и взятому в направлении, в котором это приращение имеет наибольшее значение:

$$|\mathrm{grad}\ U| = \left|\frac{\partial U}{\partial n}\right|.$$

Редактировать в WPS Office

Векторы *E* и grad *U* равны между собой по величине и направлены в противоположные стороны:

$$\mathrm{grad}\, U = -\boldsymbol{E}.$$

Знак минус в этом равенстве указывает, что потенциал убывает в направлении линий напряженности поля. Это является следствием определения потенциала как линейного интеграла напряженности электрического поля, взятого от рассматриваемой точки *A* до заданной точки *P*, в которой $U = 0$. Такое определение целесообразно, так как при этом потенциал положительно заряженного тела оказывается также положительным при условии, что потенциал бесконечно удаленных точек принимается равным нулю.

Все сказанное свидетельствует о том, что всякое *безвихревое поле есть поле потенциальное*, т. е. такое, которое может быть охарактеризовано потенциальной функцией *U*(*x*, *y*, *г*).

Редактировать в WPS Office

ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПОЛЕ

Редактировать в WPS Office

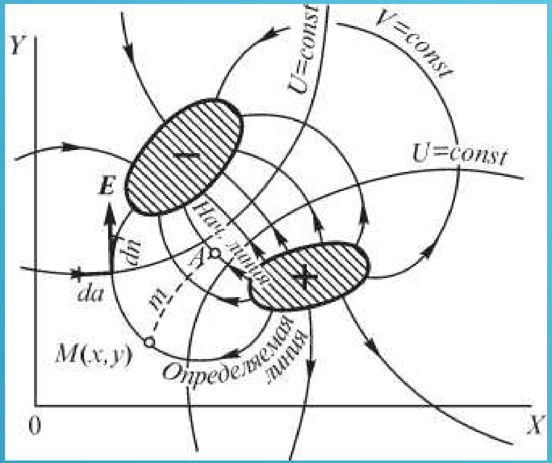
ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Понятие плоскопараллельного поля.
- Уравнения линий равного потенциала

Редактировать в WPS Office

Понятие плоскопараллельного поля.

Величины, характеризующие ПП, зависят только от двух координат. Такому условию удовлетворяет поле системы из нескольких бесконечно длинных параллельных друг другу цилиндрических проводов с зарядами, равномерно распределенными по их длине. Диэлектрик будем предполагать однородным. Направим ось *OZ* параллельно осям проводов. Тогда все линии напряженности поля будут лежать в плоскостях, параллельных плоскости *XOY*. Картина поля во всех этих плоскостях одинакова, и достаточно исследовать поле только в плоскости *XOY*. Поле такого вида будем



Редактировать в WPS Office

Уравнения линий равного потенциала

На рис. изображены поперечные сечения двух проводов и картина поля около них. Потенциал плоскопараллельного поля есть функция только двух координат: *x* и *y*. Поверхности равного потенциала суть цилиндрические поверхности с образующими, параллельными оси *OZ*. Линии равного потенциала в плоскости *XOY* определяются уравнениями вида

$$U(x, y) = \text{const}.$$

Редактировать в WPS Office

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Редактировать в WPS Office

ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Электромагнитные волны;
- Поперечность электромагнитных волн

Редактировать в WPS Office

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Электромагнитные волны — это переменное электромагнитное поле, распространяющееся в пространстве с конечной скоростью.

Существование электромагнитных волн вытекает из уравнений Максвелла:

$$\mathrm{rot}\,\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \quad \mathrm{div}\,\vec{D} = \rho; \quad \mathrm{rot}\,\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}; \quad \mathrm{div}\,\vec{B} = 0,$$

которые в области пространства, *не содержащей свободных электрических зарядов и макроскопических токов*, имеют вид

$$\mathrm{rot}\,\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \quad \mathrm{div}\,\vec{D} = 0; \quad \mathrm{rot}\,\vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}; \quad \mathrm{div}\,\vec{B} = 0.$$

Если среда — однородный и изотропный диэлектрик, не обладающий сегнетоэлектрическими или ферромагнитными свойствами, то $\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E}$ и $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$, где ε_0 и μ_0 — электрическая и магнитная постоянные, ε и μ — диэлектрическая и магнитная проницаемости среды.

В этом случае уравнения Максвелла

$$\mathrm{rot}\,\vec{E} = -\mu\mu_0\frac{\partial \vec{H}}{\partial t}; \quad \mathrm{div}\,\vec{H} = 0; \quad \mathrm{rot}\,\vec{H} = \varepsilon\varepsilon_0\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}; \quad \mathrm{div}\,\vec{E} = 0.$$

Редактировать в WPS Office

Используя $\Delta\vec{V} = \operatorname{grad}\operatorname{div}\vec{V} - \operatorname{rot}\operatorname{rot}\vec{V}$ получим волновые уравнения для векторов $\vec{E}$ и $\vec{H}$:

$$\Delta\vec{E} = \varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}, \qquad \Delta\vec{H} = \varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial t^2},$$

где $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ — оператор Лапласа, $\upsilon = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}\frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$ — ***фазовая*** скорость электромагнитной волны, $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$ — скорость света в вакууме. Таким образом, ***электромагнитные поля*** действительно ***могут существовать в виде электромагнитных волн***.

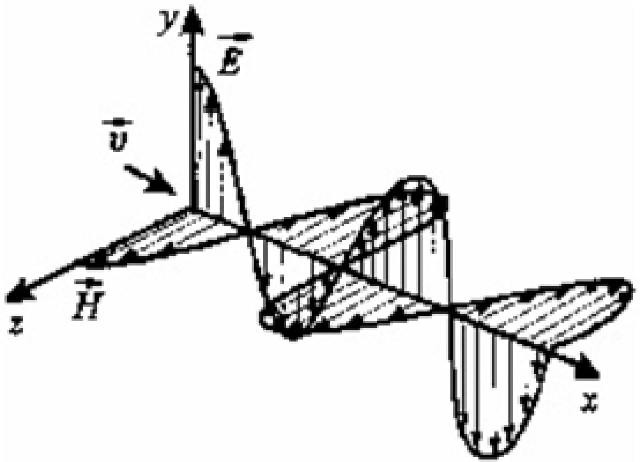
Поскольку $\varepsilon\mu > 1$, то $\upsilon < c$ — ***скорость распространения электромагнитных волн в веществе всегда меньше, чем в вакууме***.

Редактировать в WPS Office

ПОПЕРЕЧНОСТЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Следствия теории Максвелла:

(1) Векторы $\vec{E}$ и $\vec{H}$ напряженностей электрического и магнитного полей волны ***взаимно перпендикулярны*** и лежат в плоскости, перпендикулярной



вектору $\vec{\upsilon}$ скорости распространения волны, причем векторы $\vec{E}$, $\vec{H}$ и $\vec{\upsilon}$ образуют ***правовинтовую*** систему. (Только $E_y \neq 0$ и $H_z \neq 0$)

(2) В электромагнитной волне векторы $\vec{E}$ и $\vec{H}$ всегда колеблются в одинаковых фазах, причем мгновенные значения E и H в любой точке связаны соотношением $\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H$.

Редактировать в WPS Office

Волновым уравнениям:

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}, \qquad \frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2}$$

удовлетворяют плоские монохроматические электромагнитные волны, описываемые уравнениями $E_y = E_0 \cos(\omega t - kx + \varphi)$, $H_z = H_0 \cos(\omega t - kx + \varphi)$, где E_0 и H_0 — амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей волны, ω — круговая частота волны, $k = \omega / \upsilon$ — волновое число, φ — начальная фаза колебаний (одинаковая, поскольку колебания $\vec{E}$ и $\vec{H}$ происходят с одинаковой фазой).

Редактировать в WPS Office

ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Преподаватель: профессор Плахтиев А. М.

Редактировать в WPS Office

ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Отражение и преломление электромагнитных волн на границе раздела двух диэлектрических сред;
- Преломление электромагнитных волн на границе раздела двух диэлектрических сред

Редактировать в WPS Office

ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ДВУХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕД

Пусть на границу раздела двух диэлектриков падает плоская электромагнитная волна. В таком случае, как показывает опыт, от границы раздела диэлектриков будут распространяться две плоские волны — отраженная и преломленная.

Запишем выражения для падающей (i), отраженной (r) и преломленной (d) волн в комплексной экспоненциальной форме:

$$\vec{E}_i \exp[i(\omega_i t - k_i \vec{r}\vec{s}_i)], \quad k_i = \frac{\omega_i}{\upsilon_i};$$

$$\vec{E}_r \exp[i(\omega_r t - k_r \vec{r}\vec{s}_r)], \quad k_r = \frac{\omega_r}{\upsilon_r};$$

$$\vec{E}_d \exp[i(\omega_d t - k_d \vec{r}\vec{s}_d)], \quad k_d = \frac{\omega_d}{\upsilon_d}$$

Здесь $\vec{r}$ — радиус-вектор, ω и υ — частота и скорости волн, $\vec{E}$ — амплитуды волн, $\vec{s}$ — единичные векторы, показывающие направление распространения соответствующих волн. Условие $\vec{s}\vec{r} = const$ определяет плоскость, перпендикулярную к $\vec{s}$, поэтому данная система выражений описывает плоские волны, распространяющиеся вдоль векторов $\vec{s}_i, \vec{s}_r, \vec{s}_d$.

Редактировать в WPS Office

Для нашего случая, граничные условия для электрического вектора:

$$\vec{E}_{i\tau}\exp[i(\omega_i t-k_i\vec{s}_i\vec{r})]+\vec{E}_{r\tau}\exp[i(\omega_r t-k_r\vec{s}_r\vec{r})]=\vec{E}_{d\tau}\exp[i(\omega_d t-k_d\vec{s}_d\vec{r})].$$

Для выполнения этого равенства в любой момент времени t в любой точке границы раздела необходимо и достаточно, чтобы во всех трех показателях экспонент были одинаковы коэффициенты при t и при проекции $\vec{r}_\tau$ радиус-вектора $\vec{r}$ на границу раздела, т.е. чтобы выполнялись равенства:

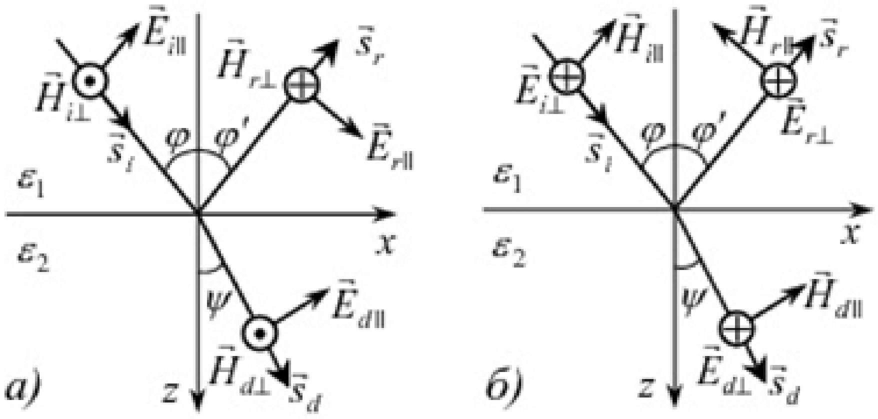
$$\omega_i=\omega_r=\omega_d;$$

$$k_i\vec{s}_{i\tau}=k_r\vec{s}_{r\tau}=k_d\vec{s}_{d\tau}$$

Следовательно, ***частоты всех трех волн*** должны быть ***равны между собой***, поскольку частоты колебаний зарядов в диэлектрической среде, вынуждаемых колебаниями электрического вектора, совпадают с частотой вынуждающей силы. Кроме того, единичные векторы $\vec{s}_i,\vec{s}_r,\vec{s}_d$ находятся в одной плоскости, проходящей через нормаль к плоскости раздела (плоскость падения).

Редактировать в WPS Office

Выберем систему координат таким образом, чтобы плоскость xOy совпадала с плоскостью раздела сред, а плоскость zOx — с плоскостью



падения, причем ось Oz направим из среды I в среду II (см. рисунок). Обозначим φ — угол между $\vec{s}_i$ и осью Oz (угол падения), $\pi-\varphi'$ — угол между $\vec{s}_r$ и Oz (φ' — угол отражения), ψ — угол между $\vec{s}_r$ и Oz (угол преломления). В этой системе координат **y**-компоненты векторов $\vec{s}_\tau$ равны нулю, а **x**-компоненты можно выразить следующим образом:

$$s_{ix}=\sin\varphi,\quad s_{rx}=\sin\varphi',\quad s_{dx}=\sin\psi\,.$$

Следовательно, равенство $k_i\vec{s}_{i\tau}=k_r\vec{s}_{r\tau}=k_d\vec{s}_{d\tau}$ примет вид:

$$\frac{\sin\varphi}{\upsilon_1}=\frac{\sin\varphi'}{\upsilon_1}=\frac{\sin\psi}{\upsilon_2}.$$

Первое равенство означает, что $\varphi=\varphi'$ — ***закон отражения*** в оптике.

Из второго равенства следует оптический закон преломления.

Редактировать в WPS Office

Показателем преломления среды n называется величина, равная отношению скорости c электромагнитных волн в вакууме к их фазовой скорости υ в среде:

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

Для среды, не обладающей ферромагнитными свойствами, $\mu \approx 1$ и практически можно считать, что

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

В этом случае для преломленной волны имеем ***закон преломления***:

$$\frac{\sin\psi}{\sin\varphi} = \frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} = \frac{\upsilon_2}{\upsilon_1}\,.$$

Редактировать в WPS Office

Рассмотрим теперь случай, когда выполняется условие $\varphi + \psi = \pi/2$ (и, следовательно, $\mathrm{tg}(\varphi + \psi) \to \infty$). Угол падения $\varphi_Б$, при котором отраженный и преломленный лучи взаимно перпендикулярны, называется ***углом Брюстера***.

Из закона преломления следует, что

$$\mathrm{tg}\,\varphi_Б = \frac{n_2}{n_1}.$$

При этом $r_{\parallel} = 0$ и в отраженной волне присутствует только $E_{r\perp}$ компонента (отраженная волна линейно поляризована в плоскости, перпендикулярной плоскости падения).

Редактировать в WPS Office

ИЗЛУЧЕНИЕ И ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Редактировать в WPS Office

ПЛАН ЛЕКЦИИ

- Энергия электромагнитных волн
- Излучение электрического диполя;
- Шкала электромагнитных волн.

Редактировать в WPS Office

ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Объемная плотность w энергии электромагнитной волны складывается из объемных плотностей w_e и w_m электрического и магнитного полей:

$$w = w_e + w_m = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}.$$

Так как $\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H$, то $w = \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \sqrt{\varepsilon \mu} EH$.

Плотность потока энергии $S = w \cdot \upsilon = EH$.

Вектор $\vec{S}$ ***плотности потока энергии*** электромагнитной волны называется **вектором Умова-Пойтинга**.

$$\vec{S} = [\vec{E}, \vec{H}].$$

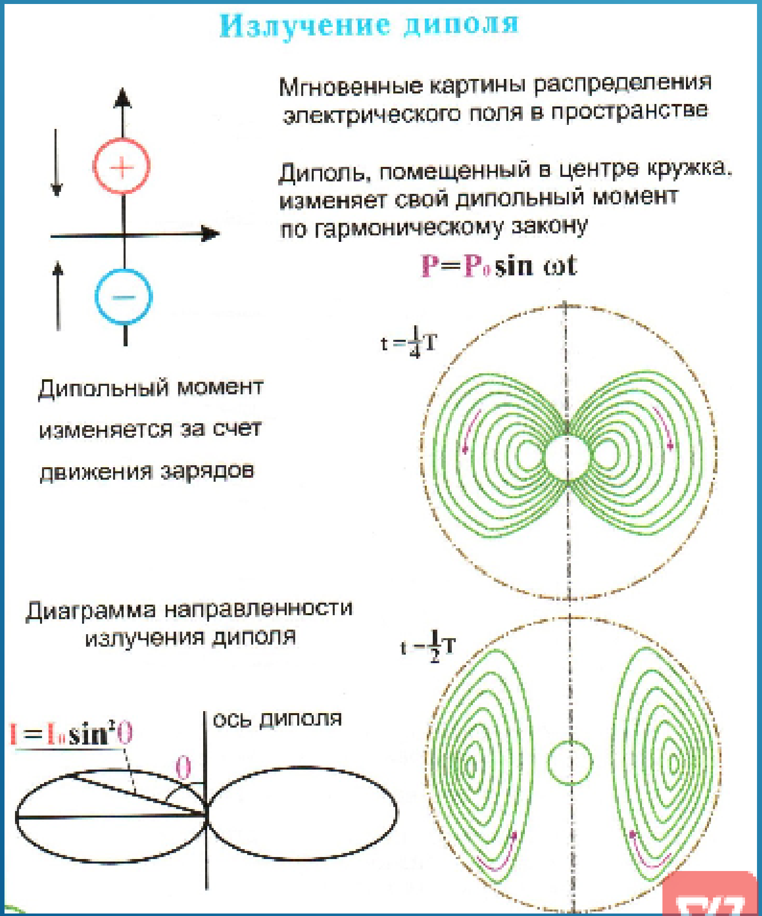
Редактировать в WPS Office

Вектор $\vec{S}$ *направлен* в сторону распространения электромагнитной волны, а *его модуль* равен энергии, переносимой электромагнитной волной за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения волны. Скалярная величина I, равная модулю среднего значения вектора Умова-Пойтинга, называется ***интенсивностью*** волны: $I = \left|\langle\vec{S}\rangle\right|$.

Интенсивность волны численно равна энергии, переносимой волной за единицу времени сквозь единицу площади поверхности, нормальной к направлению распространения волны. *Интенсивность синусоидальной волны*

Редактировать в WPS Office

ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДИПОЛЯ



Процесс возбуждения электромагнитных волн какой-либо системой в окружающем пространстве называется ***излучением*** этих волн, а сама система называется ***излучающей системой***. Поле электромагнитных волн называется ***полем излучения***.

Простейший излучатель электромагнитных волн – электрический диполь, электрический момент которого изменяется по гармоническому закону.

Примером подобного диполя является система, состоящая из покоящегося положительного заряда и отрицательного заряда, гармонически колеблющегося вдоль направления электрического момента с частотой ω.

I – интенсивность диполя

θ - угол между осью диполя м направлением излучения.

Зависимость *I (θ)* при фиксированном *r* называют ***полярной диаграммой направленности излучения диполя*** (индикатриссой излучения).

Вдоль своей оси (*θ* =0 и *θ* = π) диполь не излучает вообще.

Диаграмма используется при конструировании антенн.

Редактировать в WPS Office

ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Электромагнитные волны, обладая широким диапазоном частот (или длин волн), отличаются по способам из генерации и регистрации, а так же по своим свойствам. Поэтому электромагнитный волны условно делятся на несколько видов: *радиоволны* (λ > 50 мкм), *световые волны* (*инфракрасные волны* (770нм < λ<1мм), *видимый свет* (380нм< λ<770нм), *ультрафиолетовое излучение* (10нм< λ<380нм)), *рентгеновского излучение* (0,1нм< λ<100нм) и *γ – излучение* (λ<0,1нм).

Редактировать в WPS Office