ШПОРЫ

**1.Электрический заряд. Закон Кулона.**

Сила взаимодействиямежду двумя частицами, находящимися в вакууме и имеющими заряды *q1* и *q2*, можетбыть определена из следующей формулы:

Электрический заряд – это внутреннее свойство тел или частиц, характеризующее их способность к электромагнитным взаимодействиям.

Существует элементарный (минимальный) электрический заряд e=1,6\*10-19 Кл. Носитель элементарного отрицательного заряда – электрон.

свойства:

1. Электрический заряд существует в двух видах: положительном и отрицательном. Одноименные заряды притягиваются, разноименные – отталкиватся.

2. Электрический заряд инвариантен – его величина не зависит от системы отсчета и, следовательно, не зависит от того движется он или покоится.

3. Электрический заряд дискретен – заряд любого тела составляет целое кратное элементарного электрического заряда е.

4. Электрический заряд аддитивен – заряд любой системы тел (частиц) равен сумме зарядов тел (частиц), входящих в систему.

Точечный электрический заряд – это заряженная материальная точка.

закон взаимодействия двух точеных зарядов (закон Кулона):

сила взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами, находящимися в вакууме, прямо пропорциональна величинам зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и направлена вдоль соединяющей их прямой

результирующая сила с которой действуют одни заряды на другой, определяется по принципу суперпозиции сил (F=сигмаFi)

Напряженность – (силовая векторная характеристика электростатического поля)это сила, действующая на единичный положительный неподвижный заряд, помещеный в данную точку. (E = F/q)

принцип суперпозиции электрических полей:

напряженность электрического поля системы точечных зарядов равна векторной сумме напряженностей полей каждого из этих зарядов в отдельности

**2.Напряженность поля. Потенциал.**

Потенциал – это скалярная физическая величина, численно равная потенциальной энергии единичного положительного заряда в данной точке пространства (фи = W/q). За нулевой потенциал часто удобно принимать потенциал бесконечно удаленной точки пространства.

В потенциальном поле тела обладают потенциальной энергией и работа консервативных сил совершается за счет убыли потенциальной энергии A12=W1-W2.

Разностью потенциалов между точками 1 и 2 называется работа, совершаемая силами поля при перемещении единичного положительного заряда по произвольному пути из точки 1 и в точку 2: (фи1-фи2=А12/q)

dA=qEdl

dA=-qdфи=-q(бфи/бl)dl (б - частная производная, а Лосев - лох=)))

напряженность электростатического поля равна градиенту потенциала, взятому с обратным знаком (Е=-grad фи=-(rot,вект) фи)

эквипотенциальные поверхности – поверхности, во всех точках которых потенциал имеет одно и то же значение.

**3.Энергия взаимодействия системы зарядов.**

Физики проверили точность, с которой специальная теория относительности (СТО) Эйнштейна предсказывает релятивистское замедление времени. Эксперимент - самый точный из проводившихся когда-либо в этой области - показал, что погрешность составляет менее одной десятимиллионной секунды, сообщает журнал Science.  
 Эффект релятивистского замедления времени можно описать примерно следующим образом: представим себе, что наблюдатель А неподвижен, а наблюдатель Б движется относительного него.  
 С точки зрения наблюдателя А, часы наблюдателя Б идут медленнее, чем его собственные часы.  
 Замедление времени начинает становиться значительным только при скоростях, сравнимых со скоростью света.

Согласно СТО время в движущейся системе течет медленнее, чем в неподвижной:

Тогда частота колебаний (безразлично каких) в движущейся системе (измеренная неподвижным наблюдателем) будет меньше, чем в неподвижной:

или

, где  - частота колебаний в движущейся системе, а  - в неподвижной. Таким образом, измеряя частоту излучения, пришедшего к неподвижному наблюдателю из движущейся системы, по отношению частот  можно вычислить скорость системы.

Тепреь вспомним приведенную в статье «Кратко о силовом взаимодействии движущихся зарядов или неожиданное появление коэффициента β» формулу для «релятивистского» закона Кулона:

, где - «релятивистская длина». Или . То есть Кулонова сила уменьшается при увеличении скорости.

**4.Связь между напряженностью электрического поля и потенциалом**.

dA=qEdl

dA=-qdфи=-q(бфи/бl)dl (б - частная производная, а Лосев - лох=)))

напряженность электростатического поля равна градиенту потенциала, взятому с обратным знаком (Е=-grad фи=-(rot,вект) фи)

эквипотенциальные поверхности – поверхности, во всех точках которых потенциал имеет одно и то же значение.

**5.Диполь.**

**Электрическим диполем** называется система двух одинаковых по величине разноимённых точечных зарядов ***+q*** и ***–q***, на расстоянии ***l*** между которыми значительно меньше расстояния до тех точек, в которых определяется поля системы. Прямая, проходящая через оба заряда, называется **осью диполя**.

Поле диполя обладает осевой симметрией. Поэтому вид поля в любой плоскости, проходящей через ось диполя, будет одной и той же, причём вектор ***E*** лежит в этой плоскости. Потенциал в точке, опред.рад.вектором:

Где — характеристика диполя, называется его электрическим моментом. Вектор ***р*** направлен по оси диполя от отрицательного заряда к положительному.

Рассмотрим поведение диполя во внешнем эл.поле. Если диполь поместить в однородное эл.поле, образующие диполь заряды ***+q*** и ***–q*** окажутся под действием равных по величине, но противоположных по направлению сил ***.*** Эти силы образуют пару, плечо которой равно ***l·sinα***, т.е. зависит от положения диполя относительно поля, также они стремится повернуть диполь так, чтобы электрический момент диполя развернулся вдоль направления поля.

Величина момента пары сил: **,**  **.**

Момент сил стремится развернуть диполь вдоль силовой линии электрического поля.

Во внешнем неоднородном поле силы, действующие на концы диполя, неодинаковы.

Их результирующая сила стремится передвинуть диполь. Диполь втягивается в область поля с большей напряженностью, если угол альфа

меньше пи/2. При альфа больше меньше пи/2 диполь будет выталкиваться из области более сильного поля. энергия диполя во внешнем поле

W = q\*(фи(+)-фи(-))

фи(+)-фи(-)=-El => W = -p\*E

Потенциальная энергия, которой обладает диполь во внешнем электрическом поле:

**6.Градиент, дивергенция, ротор.**

ДИВЕРГЕНЦИЯ векторного поля A(r) ⎯ скалярное поле div***A***(***r***):



В декартовой система координат: div***A***=(дAx/дx)+ (дAy/дy)+ (дAz/дz);

***A***=Ax***i***+Ay***j***+Az***k*** => div***A***(,***A***)

РОТОРОМ векторного поля A называется векторное поле rot***A***;

| i j k |

rot***A***=|д/дx д/дy д/дz|

| Ax Ay Az |

rot***A***=[,***A***]; 

Из свойств скалярного и векторного произведения векторов => divA ротора = 0, rot градиента = 0, т.е.: (,[***A***])=0 , [,]=0

(,)=2=⎯ лапласиан

=(д2/дx2)+ (д2/дy2)+ (д2/дz2)

Градиент в ортогональных криволинейных координатах 

Полярные координаты (на плоскости)



**7. Теорема Гаусса**

**Теорема Гаусса** — основная теорема электродинамики, которая применяется для вычисления электрических полей. Она выражает связь между потоком напряжённости электрического поля сквозь замкнутую поверхность и зарядом в объёме, ограниченной этой поверхностью.

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

, где

Для теоремы Гаусса справедлив принцип суперпозиции, то есть поток вектора напряжённости через поверхность не зависит от распределения заряда внутри поверхности.

Для поля в веществе электростатическая теорема Гаусса может быть записана иначе — через поток вектора электрического смещения (электрической индукции). При этом формулировка теоремы выглядит следующим образом: поток вектора электрического смещения через замкнутую поверхность пропорционален заключённому внутри этой поверхности свободному электрическому заряду:

Поток вектора магнитной индукции через любую замкнутую поверхность равен нулю:

B природе не существует «магнитных зарядов», которые создавали бы магнитное поле, как электрические заряды создают электрическое поле. Иными словами, теорема Гаусса для магнитной индукции показывает, что магнитное поле является вихревым.

Рассмотрим поле, создаваемое бесконечной однородной заряженной **плоскостью**. Пусть поверхностная плотность заряда плоскости одинакова и равна . Представим себе мысленно цилиндр с образующими, перпендикулярными к плоскости, и основанием Δ*S*, расположенным относительно плоскости симметрично. В силу симметрии *E*' = *E*'' = *E*. Поток вектора напряжённости равен 2*E*Δ*S*.

Рассмотрим поле, создаваемое бесконечной **нитью**. Определим напряжённость, создаваемую этим полем на расстоянии *R* от нити. Возьмём цилиндр с осью, совпадающей с нитью, радиусом *R* и высотой Δ*l*. Тогда поток напряжённости через эту поверхность рассчитывается следующим образом: ;

**9.Электрическое поле в диэлектриках. Объемные и поверхностные связанные заряды.**

**Электростатическое поле** — поле, созданное неподвижными в пространстве и неизменными во времени электрическими зарядами (при отсутствии электрических токов).

Электрическое поле представляет собой особый вид материи, связанный с электрическими зарядами и передающий действия зарядов друг на друга. При ѵ<<c ***эп*** свободно движущегося заряда в каждый момент времени практически не отличается от ***эсп,*** создаваемого неподвижным зарядом, находящимся в той точке, где в данный момент находится движущийся заряд. ***Эсп*** перемещается вместе с зарядом, вследствие чего поле в каждой точке пространства изменяется со временем.

Если в пространстве имеется система заряженных тел, то в каждой точке этого пространства существует силовое электрическое поле. Оно определяется через силу, действующую на пробный заряд, помещённый в этом поле. Пробный заряд должен быть малым, чтобы не повлиять на характеристику электростатического поля.

В силу принципа суперпозиции потенциал всей совокупности зарядов равен сумме потенциалов, создаваемых в данной точке поля каждым из зарядов в отдельности: http://fishelp.ru/raz21/ris/image091.gif \*

Величинаhttp://fishelp.ru/raz21/ris/image095.gifназывается электрическим дипольным моментом системы зарядов.

Как следует из полученного выражения, при не равном нулю суммарном заряде потенциал определяется в основном первым членом, стоящим в скобках в (\*), потому что он ~1/r, тогда как второй член ~1/r2.

Однако во многих важных случаях суммарный заряд системы равен нулю, как это имеет место, например, для молекулы. Расположение же зарядов может быть таково, что дипольный момент системы отличен от нуля. Тогда потенциал определяется вторым членом.

Заметим, что и при равном нулю дипольном моменте потенциал системы, вообще говоря, не равен нулю, а определяется членами высших порядков в разложении по степеням ri/ro. Напомним, что речь все время идет о потенциале в точках, расположенных на большом удалении от системы.

**10. Вектор эл.смещения**

ВЕКТОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СМЕЩЕНИЯ **(Д)**, ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ **()**, ЭНЕРГИЯ ПОЛЯ **(W)**



Если электрическое поле имеет место в диэлектрике, то наблюдается поляризация вещества и появляются связанные электрические заряды.

Учитывают поляризацию с помощью вектора поляризации , который для анизотропных и однородных сред выражается через напряженность поля следующим образом: , где c – диэлектрическая восприимчивость вещества (диэлектрика). Вектор поляризации равен также поверхностной плотности связанных зарядов, возникающих в диэлектрике под воздействием внешнего электрического поля (Р = sсвяз ).

Кроме этого, при анализе электростатических полей используют вектор электрического смещения:



Единицей электрического смещения является кулон на метр квадратный (Кл/м2).

Величина e = e0 + c является основной характеристикой диэлектрика и называется абсолютной диэлектрической проницаемостью. Отношение er = e/e0 называют относительной диэлектрической проницаемостью.

**11 .Условия на границе двух диэлектриков.**

Первое граничное условие для напр-ти поля:

E2т=E1т - тангенциальная сост. в-ра Е не изменяется при переходе через пов-ть раздела двух сред.

Первое граничное условие для электр.смещения:

D2т=(e2/e1)\*D1т - тангенциальная сост. в-ра D претерпевает на границе раздела диэл-ков разрыв.

Второе граничное условие для напр-ти поля:

E2n=(e2/e1)\*E1n

Второе граничное условие для электр.смещения:

D2n=D1n - при переходе через границу раздела 2-х сред, на которой нет поверхностных стор. зар., нормальная составляющая в-ра D непрерывна.

Закон преломления линий E:

tga2/tga1=e2/e1

Сегнетоэлектрики - кристалические диэл., обладающие в определенном диапозоне температур спонтанной поляризацией, которая изменяется под влиянием внеш.воздействий.

Домены - области сигн-эл. с различными направлениями поляризации.

Точка Кюри Tc - т-ра при которой исчезают сигн-эл. св-ва и в-во ведет себя как изотропный диэл.

Диэлектрический гистерезис - сохранение остаточной поляризованности при снятии внешнего поля.

Пьезоэлектрики - крист.диэл., в которых при сжатии или растяжении возникает электрич. поляризация (прямой пьезоэффект).

Обратный пьезоэффект - механич. деформация под действием эл.поля

**12.Проводники в электрическом поле**

В металлических проводниках имеются свободные носители заряда – электроны проводимости (свободные электроны), которые могут под действием внешнего электрического поля перемещаться по всему проводнику. В отсутствие внешнего поля электрические поля электронов проводимости и положительных ионов металла взаимно компенсируются. Если металлический проводник внести во внешнее электростатическое поле, то под действием этого поля электроны проводимости перераспределяются в проводнике таким образом, чтобы в любой точке внутри проводника электрическое поле электронов проводимости и положительных ионов скомпенсировало внешнее поле.

Явлением электростатической индукции называется перераспределение зарядов в проводнике под влиянием внешнего электростатического поля. При этом на проводнике возникают заряды, численно равные друг другу, но противоположные по знакам – индуцированные (наведенные) заряды, которые исчезают, как только проводник удаляется из электрического поля.

Поскольку внутри проводника E=-grad фи=0 то потенциал будет постоянной величиной.

Нескомпенсированные заряды располагаются в проводнике только на его поверхности.

при помещении нейтрального проводника во внешнее поле свободные заряды начнут перемещаться: положительные – по полю, а отрицательные – против поля. На одном конце проводника будет избыток положительных зарядов, на другом – отрицательных. Окончательно внутри проводника напряженность поля станет равна нулю, а линии напряженности вне проводника – перпендикулярными его поверхности.

**13.Электроемкость уединенного проводника. Конденсаторы**

Конденсатор – это система из двух (иногда более) проводников (обкладок) с одинаковыми по модулю, но противоположными по знаку зарядами.

Емкость конденсатора – это физическая величина, равная отношению заряда q, расположенного на положительно заряженной обкладке конденсатора, к разности потенциалов фи1-фи2 между его обкладками. U=фи1-фи2 - напряжение, приложенное к конденсатору. Для плоского конденсатора C=(e\*e0\*S)/d

при парал-ом соединении конденсаторов полная емкость будет равна сумме емкостей отдельных конденсаторов, при последовательном соединении конденсаторов суммируются обратные величины емкостей

Уединенным проводником называется проводник, который находится настолько далеко от других тел, что влиянием их электрических полей можно пренебречь.

Характер распределения зарядов по поверхности заряженного уединенного проводника, находящегося в однородной, изотропной диэлектрической среде, зависит только от формы поверхности проводника. Поверхностная плотность зарядов s в каждой точке А поверхности проводника пропорциональна его общему заряду: сигма(мал.)=kq

Опыт показывает, что заряд q на уединенном проводнике прямо пропорционален его потенциалу фи. Коэффициент пропорциональности С называется электрической емкостью (электроемкостью или просто емкостью) этого проводника

С=q/фи (фарад)

Емкость зависит от формы и размера уединенного проводника и от диэлектрических свойств окружающей среды

**14. Энергия заряженного проводника. Энергия электрического поля.**

**Энергия электрического поля:**

Энергия заряженного плоского конденсатора Eк равна работе A, которая была затрачена при его зарядке, или совершается при его разрядке.

**A = CU2/2 = Q2/2С = QU/2 = Eк.**

Поскольку напряжение на конденсаторе может быть рассчитано из соотношения: **U = E\*d,**  
где E - напряженность поля между обкладками конденсатора,  
d - расстояние между пластинами конденсатора,

то энергия заряженного конденсатора равна:

**Eк = CU2/2 = ee0S/2d\*E2\*d2 = ee0S\*d\*E2/2 = ee0V\*E2/2,**  
где V - объем пространства между обкладками конденсатора.

Энергия заряженного конденсатора сосредоточена в его электрическом поле.

(Это может и не быть ответом на 2 вопрос)

Некоторые вещества в магнитном поле *намагничиваются*, то есть сами становятся источниками магнитного поля. Такие вещества называют *магнетиками*. Механизм намагничивания следующий: в веществе есть *элементарные токи* (замкнутые токи в пределах каждого атома), которые в обычных условиях ориентированы хаотически, так что результирующий магнитный момент равен нулю. Под действием внешнего магнитного поля эти магнитные моменты ориентируются в одном направлении, и их векторная сумма становится отлична от нуля.

Магнитное состояние вещества можно охарактеризовать с помощью *магнитного момента единицы объема*. Эта величина называется *вектор намагничивания J*.

Таким образом, для магнетика связь между векторами напряженности магнитного поля и магнитной индукцией имеет вид:

B=H+4 *J*.

В общем случае, вектора *J* и H могут не совпадать. Это наблюдается для некоторого класса веществ, называемых *анизотропными магнетиками* (в них в них величина намагничения зависит еще и от направления внешнего поля в веществе). Если же вещество является *изотропным магнетиком*, то вектора J и H сонаправлены, то есть J=H, где  - скалярная величина, называемая *магнитной воспиимчивостью*.

Тогда B=H, где =1+4 - магнитная проницаемость вещества. Различные вещества очень сильно варьируются по своим магнитным свойствам.

Вещества, у которых <1 называются *диамагнетиками*, те, у которых >1 - *парамагнетиками*, а те, у которых  >> 1 - *ферромагнетиками*. Больше всего способны намагничиваться ферромагнетики.

**15.Электрический ток. Уравнение непрерывности.**

Электрический ток — это упорядоченное движение заряженных частиц в проводнике. Чтобы он возник, следует предварительно создать электрическое поле, под действием которого вышеупомянутые заряженные частицы придут в движение.

**Закон Ома**—Сила тока в однородном участке цепи прямо пропорциональна напряжению, приложенному к участку, и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению этого участка.

## Закон Ома в интегральной форме

Закон Ома для участка электрической цепи имеет вид:

I = {U \over R} или U = R \cdot I\! или R = {U \over I}

где: U\! — напряжение или разность потенциалов,I\! — сила тока,R\! — сопротивление. Закон Ома также применяется ко всей цепи, но в несколько изменённой форме: I = {\varepsilon \over {R+r}}, где: {\varepsilon} — ЭДС источника напряжения, ***I***— сила тока в цепи, ***R***— сопротивление всех внешних элементов цепи, ***r***— внутреннее сопротивление источника напряжения.

## Закон Ома в дифференциальной форме

Сопротивление R\!зависит как от материала, по которому течёт ток, так и от геометрических размеров проводника.

Полезно переписать закон Ома в так называемой дифференциальной форме, в которой зависимость от геометрических размеров исчезает, и тогда закон Ома описывает исключительно электропроводящие свойства материала. Для изотропных материалов имеем: \mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}

где: j — вектор плотности тока,\sigma\! — удельная проводимость,

E— вектор напряжённости электрического поля.

**Закон Джоуля — Ленца**—Мощность тепла, выделяемого в единице объёма среды при протекании электрического тока, пропорциональна произведению плотности электрического тока на величину электрического поля.

16.**Электродвижущая сила. Законы Ома**

*Электродвижущая сила (ЭДС*) — физическая величина, характеризующая работу сторонних (непотенциальных) сил в источниках постоянного или переменного тока. В замкнутом проводящем контуре ЭДС равна работе этих сил по перемещению единичного положительного заряда вдоль контура.

ЭДС можно выразить через напряжённость электрического поля сторонних сил (Eex). В замкнутом контуре (L) тогда ЭДС будет равна:

, где dl — элемент длины контура. ЭДС так же, как и напряжение, измеряется в вольтах

ЭДС индукции

Причиной электродвижущей силы может стать изменение магнитного поля в окружающем пространстве. Это явление называется электромагнитной индукцией. Величина ЭДС индукции в контуре определяется выражением



где Φ — поток магнитного поля через замкнутую поверхность S, ограниченную контуром. Знак «−» перед выражением показывает, что индукционный ток, созданный ЭДС индукции, препятствует изменению магнитного потока в контур

*Законы Ома*

Зако́н О́ма — физический закон, определяющий связь между Электродвижущей силой источника или напряжением с силой тока и сопротивлением проводника

Закон Ома для полной цепи:

 (2)  -ЭДС источника напряжения(В),  сила тока в цепи (А),

* — сопротивление всех внешних элементов цепи(Ом) ,

r — внутреннее сопротивление источника напряжения(Ом) .

Из Закона Ома для полной цепи вытекают следствия:

При r<<R Сила тока в цепи обратно пропорциональна её сопротивлению. А сам источник в ряде случаев может быть назван источником напряжения

При r>>R Сила тока от свойств внешней цепи (от величины нагрузки) не зависит. И источник может быть назван источником тока.

Часто[2] выражение:

 (3)

Таким образом Электродвижущая сила в замкнутой цепи, по которой течёт ток в соответствии с (2) и (3) равняется:



ЗАКОН ОМА

ЗАКОН ОМА

1) Закон Ома для однородного проводника: E=-d/dl

Однородный проводник цилиндрической формы:

I~U, E=-(2-1)/l=(1-2)/l=U/l ; I=U/R ; R=l/S , ⎯ удельное сопр.

[R]=1 Ом, []=1 Омм

I=U/R ⎯ закон Ома в интегральной форме

2)Неоднородный участок цепи ⎯ участок, на котором действуют сторонние силы

***j***=(***E***+***E\****) ⎯ обобщенный закон Ома в дифференциальной форме

***E\**** ⎯ напряжение поля сторонних сил ; ***j***=(1/)(***E***+***E\****)|dl ;

(***d***, ***dl***)=(***E***, ***dl***)+ (***E\****, ***dl***) ; (***d***, ***dl***)=(I/,dl)



IR=2-1+12 ⎯ обобщенный закон Ома в интегральной форме

**17,Магнитное поле движущегося заряда. Закон Био - Савара.**

Закон Био́—Савара—Лапла́са — физический закон для определения вектора индукции магнитного поля, порождаемого постоянным электрическим током.

*Для тока текущего по контуру (тонкому проводнику)*

Пусть постоянный ток I течёт по контуру (проводнику)γ, находящемуся в вакууме, — точка, в которой ищется поле, тогда индукция магнитного поля в этой точке выражается интегралом (в системе СИ)



где квадратными скобками обозначено векторное произведение, r - положение точек контура γ, dr - вектор элемента контура, вдоль которого идет проводник (ток течет вдоль него); μ0 - константа (магнитная проницаемость вакуума).

Направление  перпендикулярно плоскости, в которой лежат вектора  и  Модуль вектора определяется выражением (в системе СИ)



*Для распределенных токов*

Для случая, когда источником магнитного поля являются распределенные токи, характеризуемые полем вектора плотности тока j, формула закона Био — Савара принимает вид (в системе СИ):



где j = j(r), dV - элемент объема, а интегрирование производится по всему пространству (или по всем его областям, где j≠0), r - соответствует текущей точке при интегрировании (положению элемента dV).

Векторный потенциал:



18.Теорема Гаусса для магнитного поля. Теорема о циркуляции для магнитного поля.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

1) Теорема Гаусса:



⎯ математическое выражение того факта, что

магнитное поле не имеет источника (его силовые линии замкнуты)

Воспользовавшись теоремой Остроградского-Гаусса, запишем теорему Гаусса в дифференциальной форме:

(,***B***)=0; B=[,***A***], ***A*** ⎯ векторный потенциал

ТЕОРЕМА О ЦИРКУЛЯЦИИ

С помощью закона Био-Савара-Лапласа запишем:

; I=Ii ; 

⎯ магнитное поле ⎯ не потенциальное ⎯ циркуляция 0;

Воспользовавшись теоремой Стокса, запишем теорему о циркуляции в дифференциальном виде: [,***B***]=0***j*** ;

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРЕМЫ О ЦИРКУЛЯЦИИ ДЛЯ РАСЧЁТА МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Алгоритм:

1. Проводим контур через исследуемую точку поля
2. Такой, чтобы в каждой его точке ***B*** имел одинаковые значения



а) Магнитное поле прямого тока: B2r=0I => B=(0I)/(B2r)

б) Магнитное поле бесконечного соленоида:

n ⎯ число витков на единицу длины; Bl=0Inl => B=0In

в) Магнитное поле тороида: B2r=0IN => B=0IN/2r

г) Магнитное поле бесконечной плоскости с током: B2l=0il =>

B=0.50i

8.Вычисление полей с помощью теоремы Гаусса не могу найти.

**19.Поля соленоида, торой да, прямолинейного тока.**

Найдем с помощью теоремы о циркуляции, индукцию магнитного поля внутри **соленоида**. Рассмотрим соленоид длиной l, который имеет N витков, и по которому течет ток (рис. 1). Будем считать длину соленоида во много раз больше, чем диаметр его витков. Экспериментальное изучение магнитного поля соленоида (см. главу "магнитное поле и его характеристики") показывает, что внутри соленоида поле однородно, вне соленоида — неоднородно и практически отсутствует.

На рис. 1 даны линии магнитной индукции внутри и вне соленоида. Чем соленоид длиннее, тем магнитная индукция вне его меньше. Поэтому приближенно можно полагать, что поле бесконечно длинного соленоида сосредоточено целиком внутри него, а поле соленоида можно не учитывать.

Для вычисления магнитной индукции В выберем замкнутый прямоугольный контур ABCDA, как показано на рис. 1. Циркуляция вектора В по замкнутому контуру ABCDA, который охватывает все N витков, используя формулу циркуляции вектора В, будет

D:\Полезные программы\МОЙ УНИВЕР\2 КУРС\Физика\2 сем\фото\2f8c37aa2220b4a0fa274597845581a5.png

Интеграл по ABCDA можно разложить на четыре интеграла: по АВ, ВС, CD и DA. На участках АВ и CD контур и линии магнитной индукции перпендикулярны: Bl=0. На участке вне соленоида B=0. На участке DA циркуляция вектора В равна Вl (контур и линии магнитной индукции совпадают); значит,

D:\Полезные программы\МОЙ УНИВЕР\2 КУРС\Физика\2 сем\фото\3dd97818aec0e26232589d40799bfde8.png

Из (1) приходим к формуле магнитной индукции поля внутри соленоида (в вакууме):

D:\Полезные программы\МОЙ УНИВЕР\2 КУРС\Физика\2 сем\фото\fcacc826754e7586fa1bc9f45d138c2e.png

Мы видим, что поле внутри соленоида однородно (при расчетах пренебрегают краевыми эффектами в областях, прилегающих к торцам соленоида). Но отметим, что вывод этой формулы не совсем корректен (поскольку линии магнитной индукции замкнуты, и интеграл по внешнему участку магнитного поля строго нулю не равен). Корректно найти поле внутри соленоида можно, используя закон Био — Савара — Лапласа; в результате получается такая же формула (2).

Важное практическое значение имеет также магнитное **поле тороида** — кольцевой катушки, у которой витки намотаны на сердечник, который имеет форму тора (рис. 2). Магнитное поле, как известно из опыта, сосредоточено внутри тороида, а вне его поле равно нулю.

В данном случае линии магнитной индукции, как следует из соображений симметрии, есть окружности, у которых центры расположены по оси тороида. В качестве контура возьмем одну такую окружность радиуса r. Тогда, используя теорему о циркуляции, B•2πr=μ0NI, откуда следует, что магнитная индукция внутри тороида (в вакууме)

D:\Полезные программы\МОЙ УНИВЕР\2 КУРС\Физика\2 сем\фото\68633e0d55a47daf9107c06851cad84d.png

где N — число витков тороида Если контур проходит вне тороида, то токов он не охватывает и B•2πr = 0. Следовательно, что поле вне *тороида отсутствует (что показывает и опыт).*

**Прямолинейный ток:**

Магнитное поле прямолинейного тока рассмотрим на примере (см. рисунок). Имеется проводник с токм. Рассмотрим контур в виде окружности с радиусом r, эта окружность совпадает с силовой линией магнитного поля проводника с током I. В каждой точке нашего контура напряженность магнитного поля одинакова. Магнитодвижущая сила F вдоль контура по закону полного тока:

F = Σ I = Σ Hr \* ΔL

Напряженность Hr выносим за знак суммирования, т.к. она одинакова для всех точек контура, а ΣΔL равна длине окружности радиуса r:

F = Σ I = Hr \* 2πr

Полный ток Σ I равен алгебраической сумме токов, проходящих через поверхность, ограниченную контуром r. В нашем случае это только ток I:

I = Σ I = Hr \* 2πr

Отсюда получаем напряженность магнитного поля в любой точке нашего контура:

Hr = I/(2πr)

Вот эта формула и описывает магнитное поле прямолинейного тока. Правда она справедлива только для проводника, длина которого много больше радиуса контура r. Если же длина проводника и радиус контура, на котором мы исследуем магнитное поле прямолинейного тока, близки по величине, то для определения напряженности магнитного поля используют формулу, вытекающую из закона Био-Савара:

HA = I(cosα + cosβ)/(4πr)

Точку А, находящуюся на контуре радиуса r, соединяем линиями с концами проводника, получаем углы α и β. Если удлинять проводник или приближать точку А к проводнику, то углы α и β будут стремиться к нулю, а выражение (cosα + cosβ) будет стремиться к двум, ведь косинус нуля равен единице. Тогда получаем:

HA = I(cosα + cosβ)/(4πr) ~= I(2)/(4πr) = I/(2πr)

т.е. переходим к формуле напряженности магнитного поля проводника бесконечной длины.

**20.Сила Лоренца. Сила Ампера.**

**Сила ампера:**

Из закона Ампера следует, что параллельные проводники с постоянными токами, текущими в одном направлении, притягиваются, а в противоположном — отталкиваются. Законом Ампера называется также закон, определяющий силу, с которой магнитное поле действует на малый отрезок проводника с током. Сила d\vec F, с которой магнитное поле действует на элемент объёма *dV* проводника с током плотности \vec j, находящегося в магнитном поле с индукцией \vec B:

d\vec F = \vec j \times \vec B dV

Элементарную силу взаимодействия  между элементами  и проводников, по которым протекают токи *I*1 и *I*2 можно определить из закона Ампера:

**Сила Лоренца:**

Выражение для силы, с которой магнитное поле действует на движущийся заряд, впервые получил голландский физик Хендрик Антон Лоренц (1895 г.). В его честь эта сила называется силой Лоренца.

Сила Лоренца — это сила, с которой магнитное поле действует на движущуюся в нем заряженную частицу.

Модуль силы Лоренца равен произведению модуля индукции магнитного поля B(вектор), в котором находится заряженная частица, модуля заряда q этой частицы, ее скорости υ и синуса угла между направлениями скорости и вектора индукции магнитного поля

D:\Полезные программы\МОЙ УНИВЕР\2 КУРС\Физика\2 сем\фото\mimetex.jpg

Для определения направления силы Лоренца применяют правило левой руки: если левую руку расположить так, чтобы вектор индукции магнитного поля (D:\Полезные программы\МОЙ УНИВЕР\2 КУРС\Физика\2 сем\фото\1.jpg) входил в ладонь, четыре вытянутых пальца указывали направления скорости движения положительно заряженной частицы (D:\Полезные программы\МОЙ УНИВЕР\2 КУРС\Физика\2 сем\фото\1111111.jpg), тогда отогнутый на 90° большой палец укажет направление силы Лоренца (D:\Полезные программы\МОЙ УНИВЕР\2 КУРС\Физика\2 сем\фото\3.jpg) (рис. 3, а). Для отрицательной частицы четыре вытянутых пальца направляют против скорости движения частицы (рис. 3, б).

Поскольку величина B∙sin α представляет собой модуль компоненты вектора индукции, перпендикулярной скорости заряженной частицы, D:\Полезные программы\МОЙ УНИВЕР\2 КУРС\Физика\2 сем\фото\1111111.jpg, то ориентацию ладони можно определять именно этой компонентой — перпендикулярная составляющая к скорости заряженной частицы должна входить в открытую ладонь левой руки.

Так как сила Лоренца перпендикулярна вектору скорости частицы, то она не может изменить значение скорости, а изменяет только ее направление и, следовательно, не совершает работы.

**21.Контур с током в магнитном поле.**

1. Если контур *L* с током *I* расположен таким образом, что вектор индукции однородного магнитного поля перпендикулярен плоскости этого контура, то сила действующая на элемент стремится его растянуть, тогда результирующая сила ровна 0.

Не будет иметь ни поступательного, ни вращательного движений.

2. Если вектор индукции однородного магнитного поля параллелен плоскости этого контура, то разделив площадь контура на маленькие участки шириной *dZ*, получим, что на элементы **()** контура будут действовать противоположные силы , в результате чего образуется элементарный вращающий момент .

Суммируя моменты для всех полосок, получим:

Из рассмотренных выше двух ситуаций следует, что вращающее действие оказывает только параллельная плоскости контура составляющая

Обобщая, можно записать:

Магнитное поле стремится повернуть контур с током так, чтобы  и его потенциальная энергия была бы минимальной.

**22.Намагничение магнетика. Напряженность магнитного поля.**

**Намагничение магнетика**

Степень намагничивания хар-ся намагниченностью J - магнитным моментом единицы объема:

J=(1/дельтаV)\*сумма(pm) или J=n<pm>, где n-концентрация молекул

Т о циркуляции в-ра намагниченности J:

цирк. J по произв. замкн. к-ру L равна алгебр. сумме токов намагнич. I', охв. контуром

где I'=интегр.j'\*dS

В дифф. форме: rotJ=j' - ротор в-ра намагниченности равен плотности тока намагн. в этой точке

Напряженность магнитного поля H=B/мю0-J

[H]=1 А/м

**Напряженность магнитного поля**

Сила, с которой магнитное поле притягивает железные тела, пропорциональна значению протекающего по проводнику тока. Если провод уложен в виде катушки, то эта сила тем больше, чем больше витков имеет катушка. Произведение силы тока I на число витков w катушки называют ампер-витками. Оно равно магнитодвижущей силе (м. д. с.) катушки, измеряемой в амперах (А). Ампер-витки Iw, приходящиеся на единицу длины L катушки, называют напряженностью магнитного поля H:

. Iw

H=——

. l

Единица измерения напряженности магнитного поля

. ампер • виток

1 ———————— = 1 А/м.

. метр

Напряженность, рассчитанная по формуле (4.1), соответствует напряженности внутри цилиндрической катушки. Если катушку замкнуть в виде кольца, то силовые линии замкнутся по кругу без рассеивания, и тогда формула (4.1) будет верна для любой точки такой катушки (тороида).

Магнитная индукция Во, или интенсивность магнитного поля, в катушке без сердечника Во=µо Н, (4.2)

где µо = 4∏10-7 Г/м = 1,256•10-7 Г/м — магнитная постоянная (магнитная проницаемость свободного пространства или вакуума).

Если внутрь катушки ввести железный сердечник, то при тех же витках и силе тока магнитная индукция, или интенсивность магнитного поля, возрастает в значительной мере. Причина этого явления заключается в том, что молекулярные токи в железе под действием магнитного поля ориентируются относительно этого поля. Молекулярные магнитные поля при этом совпадают с внешним магнитным полем и усиливают его. Способность к увеличению интенсивности магнитного поля зависит от свойств материала сердечника, характеризуется относительной магнитной проницаемостью µ:

. Интенсивность магнитного поля в катушке с сердечником В

µ= —————————————————————————————— = — . (4.3)

. Интенсивность магнитного поля в катушке без сердечника Во

Это безразмерная величина. Для воздуха значение µ принимают равным 1.

Произведение µоµ = µа называется абсолютной магнитной проницаемостью. Тогда магнитная идукция В для катушки с сердечником

В = µаH = µ0µ H, (4.4)

где µ — относительная магнитная проницаемость материала сердечника.

Единица измерения магнитной индукции — тесла (Т):

1 Т = 1 В с/м2.

23.Условия на границе двух магнетиков.

С помощью теоремы Гаусса для вектора B и теоремы о циркуляции вектора H можно получить граничные условия для векторов B и H:

B2n=B1n

H2n=H1n

B2т/B1т=мю2/мю1

H2n/H1n=мю1/мю2

Таким образом, при переходе через границу раздела двух однородных магнетиков, когда на границе раздела нет токов проводимости, нормальная составляющая вектора магнитной индукции B и тангенциальная составляющая вектора напряженности H непрерывны, т.е. не изменяются.

В результате получаем закон преломления линий вектора B: tga1/tga2=мю1/мю2

Линии B всегда замкнуты, линии H могут возникать и обрываться.

**24. Явление электромагнитной индукции. ЭДС индукции**

Это явление состоит в том, что в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего поверхность, опирающуюся на этот контур, возникает электрический ток (индукционный ток).

Э.Д.С. индукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока, пронизывающего поверхность, натянутую на контур. Выбором подходящей системы единиц можно обеспечить не только пропорциональность, но и строгое равенство упомянутых величин:

fml1

где S - поверхность, натянутая на контур. Примечательно, что изменение величины Ф за счет изменения во времени индукции магнитного поля **B,** или за счет изменения взаимной ориентации векторов **B** и нормали **n** или за счет изменения площади поверхности S приводит к одинаковым результатам.

Смысл закона электромагнитной индукции Фарадея состоит в том, что переменное во времени магнитное поле **B** порождает электрическое поле **E**, но это означает, что они связаны друг с другом внутренним образом, а не только посредством внешних проявлений.

"правило Ленца", согласно которому Э.Д.С. индукции вызывает ток такого направления, чтобы препятствовать причине его возникновения. Если Э.Д.С. индукции представить в форме интеграла по замкнутому контуру от индуцированной напряженности электрического поля **E**, то "правильное" соотношение для закона Фарадея приобретет форму

fml8

Здесь положительное направление обхода контура (ориентация элемента длины d**l** контура) и направление нормали **n** к элементу площади поверхности dS (и для совокупности элементов dS) связаны между собой правилом правого винта.

Вернемся к рассмотрению закона электромагнитной индукции Фарадея с учетом правила Ленца:

fml24

для относительно медленных переменных процессов можно воспользоваться определением индуктивности:fml25

fml26 fml27 мю - магнитная проницаемость среды, Н - напряженность магнитного поля.

В более простом и чаще встречающемся случае (соленоид без ферромагнитного сердечника) величина L является постоянной величиной:

fml29

**25.Явление самоиндукции. Энергия магнитного поля.**

1.Э. д. с. самоиндукции. Э. д. с. eL, индуцирования в проводнике или катушке в результате изменения магнитного потока, созданного током, проходящим по этому же проводнику или катушке, носит название э. д. с. самоиндукции. Эта э. д. с. возникает при всяком изменении тока, например при замыкании и размыкании электрических цепей, при изменении нагрузки электродвигателей и пр. Чем быстрее изменяется ток в проводнике или катушке, тем больше скорость изменения пронизывающего их магнитного потока и тем большая э. д. с. самоиндукции в них индуцируется.

Направление э. д. с. самоиндукции определяется по правилу Ленца. Э. д. с. самоиндукции имеет всегда такое направление, при котором она препятствует изменению вызвавшего ее тока. Следовательно, при возрастании тока в проводнике (катушке) индуцированная в них э. д. с. самоиндукции будет направлена против тока, т. е. будет препятствовать его возрастанию, и наоборот, при уменьшении тока в проводнике (катушке) возникает э. д. с. самоиндукции, совпадающая по направлению с током, т. е. препятствующая его убыванию. Если же ток в катушке не изменяется, то э. д. с. самоиндукции не возникает.

эта э. д. с. оказывает тормозящее действие на изменение тока в электрических цепях. В этом отношении ее действие аналогично действию силы инерции, которая препятствует изменению положения тела. В электрической цепи, состоящей из резистора с сопротивлением R и катушки К, ток i создается совместным действием напряжения U источника и э. д. с. самоиндукции eL индуцируемой в катушке. При подключении рассматриваемой цепи к источнику э. д. с. самоиндукции eL сдерживает нарастание силы тока. Поэтому ток i достигает установившегося значения I=U/R (согласно закону Ома) не мгновенно, а в течение определенного промежутка времени. За это время в электрической цепи происходит переходный процесс, при котором изменяются eL и i

2. Проводник, c протекающим по нему электрическим ток, всегда окружен магнитным полем, причем магнитное поле исчезает и появляется вместе с исчезновением и появлением тока. Магнитное поле, подобно электрическому, является носителем энергии. энергия магнитного поля совпадает с работой, затрачиваемой током на создание этого поля.

e24c58d40df92246882e913b1d79e77a Значит, энергия магнитного поля, которое связано с контуром,

821a3907164a75facbe882ece5b2aeaf

Энергию магнитного поля можно рассматривать как функцию величин, которые характеризуют это поле в окружающем пространстве. Для этого рассмотрим частный случай — однородное магнитное поле внутри длинного соленоида ce340cb29254807c342f1211438f317a , 00bf5eb8461dc0694acedb56697b1c85

Магнитное поле внутри соленоида однородно и сосредоточено внутри него, поэтому энергия заключена в объеме соленоида и имеет с нем однородное распределение с постоянной объемной плотностью

a8706c97b78288cd728a6fd93560cd15 (3)

Формула (3) для объемной плотности энергии магнитного поля имеет вид, аналогичный выражению для объемной плотности энергии электростатического поля, с тем отличием, что электрические величины заменены в нем магнитными. Формула (3) выводилась для однородного поля, но она верна и для неоднородных полей. Формула (3) справедлива только для сред, для которых линейная зависимость В от Н , т.е. оно относится только к пара- и диамагнетикам.

**26. Свободные и затухающие колебания в контуре. Вынужденные электрические колебания**

Колебательным контуром называется замкнутая цепь, содержащая катушку индуктивности с индуктивностью L и конденсатор с емкостью С. Если в цепи нет активного сопротивления R (резистора), то в контуре возможны гармонические (незатухающие) колебания тока I, заряда конденсатора q и напряжения на элементах.

Напряжение на конденсаторе: image002_63x48x0

ЭДС самоиндукции в катушке image004_75x48x0

НАПРЯЖЕНИЕ НА РЕЗИСТОРЕ image006_61x23x0

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА image008_52x48x0

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ свободных незатухающих колебаний

image010_113x53x0 где w0 =image012_45x51x0 - собственная частота контура .

Период Т = 2pimage014_43x27x0

Его решение q(t) = qv cos(w0 t + a), где a - начальная фаза.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ свободных затухающих колебаний

image016_176x53x0 , где b =image018_29x47x0 - коэффициент затухания.

Его решение q(t) = qv0 е-bt cos(wt + a), гдеimage020_111x35x0 - частота затухающих колебаний.

логарифмическим **декрементном** затухания –

1

ДОБРОТНОСТЬ контура равна Q =image025_17x48x0

Рассмотрим электромагнитный колебательный контур, в котором помимо ёмкости, индуктивности, сопротивления есть ещё и генератор переменного напряжения, то есть источник электрической энергии. Очевидно, что в таком контуре со временем (это время обычно мало) установятся вынужденные колебания тока с частотой генератора и с постоянной амплитудой; подвод энергии от генератора будет в точности компенсировать потери энергии на сопротивлении.

Дифференциальное уравнение **вынужденных** колебаний заряда в электромагнитном контуре в стандартном (каноническом) виде получается следующим:

image004 или image006

**27. Вихревое электрическое поле**

Если провод неподвижен, а магнитное поле переменное, то в пространстве (в проводнике, в частности) возникает особое электрическое поле, называемое вихревым электрическим полем. Оно было открыто теоретически Максвеллом. Вихревое электрическое поле отличается от электростатического (потенциального) следующими свойствами: источником поля служат не заряды, а магнитное поле; в вихревом электрическом поле силовые линии – замкнутые, а работа по перемещению заряда по замкнутой линии не равна нулю.

Рассмотрим подробнее вихревое электрическое поле на следующем примере. Пусть однородное переменное магнитное поле с индукцией **B**(t) создается внутри длинного соленоида С, по проводам которого протекает переменный ток. В этом поле находится неподвижное проволочное кольцо К радиусом r и площадью S. Линии магнитной индукции направлены вдоль оси соленоида и перпендикулярны плоскости кольца. Согласно, в кольце возникает ЭДС индукции.



Вследствие осевой симметрии, замкнутые линии напряженности вихревого электрического поля представляют собой окружности. Вектор **E** направлен по касательной к окружности, а его модуль **E** постоянен на данной окружности. На заряд q в кольце действует сила q**E**, которая при перемещении заряда по кольцу длиной L совершает стороннюю работу.



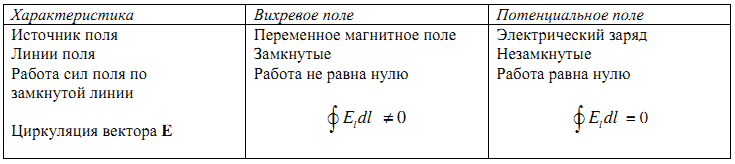
Следовательно, ЭДС в кольце равна произведению напряженности вихревого электрического поля на длину кольца  => 

Если ток в соленоиде изменяется по гармоническому закону с циклической частотой ω (ω = 2πν = 2π/T), то и магнитная индукция будет изменяться с такой же частотой 

где Bm – максимальное значение (амплитуда). Тогда dB/dt = ωBm cos ωt. Для нахождения напряженности вихревого электрического поля на расстоянии r от оси соленоида подставим в L =2πr и S = πr2, тогда   представляет амплитуду электрического поля.

Напряженность вихревого электрического поля пропорциональна частоте тока. Она может достигать больших значений в магнитных полях, создаваемых токами высокой частоты радиодиапазона.

является основным уравнением Максвелла и выражает важнейшее свойство электромагнитного поля: в переменном магнитном поле возникает вихревое электрическое поле.



**28. ТОК СМЕЩЕ́НИЯ**

В соответствии с теорией Максвелла, в цепи переменного тока, содержащей конденсатор, переменное электрическое поле в конденсаторе в каждый момент времени создает такое магнитное поле, какое создавал бы ток, (названный током смещения), если бы он протекал между обкладками конденсатора. Из этого определения следует, что JD = J (т. е., численные значения плотности тока проводимости и плотности тока смещения равны), и, следовательно, линии плотности тока проводимости внутри проводника непрерывно переходят в линии плотности тока смещения между обкладками конденсатора. Плотность тока смещения jсм характеризует скорость изменения электрической индукции D во времени:

be965c2fd40c39d5f539797ec36b2fb8

Ток смещения не выделяет джоулевой теплоты, его основное физическое свойство — способность создавать в окружающем пространстве магнитное поле.

Вихревое магнитное поле создается полным током, плотность которого j, равна сумме плотности тока проводимости и тока смещения. Именно поэтому для этой величины и было введено название ток.

b5fa5341977d61504609edd4065f904e

**29. Уравнения Максвелла**

Уравнения Максвелла - уравнения классической электродинамики, описывающие динамику электромагнитного поля и его связь с зарядами и токами. Уравнения Максвелла явились теоретическим обобщением экспериментальных законов: Кулона, Ампера, законов электромагнитной индукции и других.

Уравнения Максвелла в гауссовой системе единиц имеют вид

eqne045p02_01 div B = 0,

eqne045p02_03 div D = 4πρ,

где E - напряжённость электрического поля, H - напряжённость магнитного поля, D - электрическая индукция, B - магнитная индукция, ρ - плотность электрического заряда, j - плотность электрического тока.

Для того, чтобы использовать уравнения Максвелла для решения задач электродинамики в различных средах, необходимо учесть индивидуальные свойства среды.

D = εE, B = μH, eqne045p02_07

ε - диэлектрическая проницаемость среды, μ - магнитная проницаемость среды, σ - электропроводность среды. В вакууме без зарядов и токов

D = ε0E, B = μ0H,

div E = 0, div H = 0,

eqne045p02_02 eqne045p02_04

Эта система дифференциальных уравнений имеет решение - гармоническую плоскую волну. Векторы электрического и магнитного полей перпендикулярны направлению распространения волны и друг другу и находятся в фазе. Волна распространяется со скоростью.

c = (μ0ε0)-1/2.

c - скорость света в вакууме, c = 2.99792458·108 м/с,

ε0 - электрическая постоянная, ε0 = 8.85418782·10-12 Ф/м,

μ0 - магнитная постоянная, μ0 = 1.25663706·10-6 Гн/м.

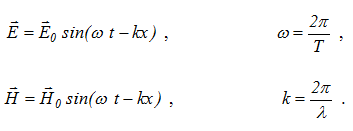
**30. В общем случае волновое уравнение записывается в виде**

Описание: C:\Users\Admin\Desktop\c116de8c98216d7cdbea07e1070f13a9.png

Где Описание: C:\Users\Admin\Desktop\02a496602e0fe4144ea4664831b264c0.png — оператор Лапласа, Описание: C:\Users\Admin\Desktop\6411740650a59f666ad1d5fcbeec162a.png — неизвестная функция, Описание: C:\Users\Admin\Desktop\272d281d8127819167bd856070590e2a.png — время, Описание: C:\Users\Admin\Desktop\9b4850254c364ff1a1fad0facc8ebef9.png — пространственная переменная, Описание: C:\Users\Admin\Desktop\365f1acbe734a095472fd7974f2216d8.png — фазовая скорость.

**31. Cамой простой гармонической электромагнитной волной является волна с постоянной** амплитудой колебаний в любой точке наблюдения, которая называется плоской. Наиболее простое выражение для векторов электромагнитного поля имеет плоская гармоническая волна, распространяющаяся вдоль одной их координатных осей принятой декартовой системы координат , например, вдоль оси ОХ.

Если источником задается одно единственное направление X для излучения электромагнитной волны, то фронт волны будет плоским, а волна одномерной. В этом случае волну можно представить двумя уравнениями, соответственно



**32. Объёмная плотность энергии электромагнитного поля в линейной изотропной среде, как известно из электродинамики, даётся выражением :**

Описание: C:\Users\Admin\Desktop\image002.gif

В случае синусоидальной монохроматической плоской электромагнитной волны, распространяющейся в направлении х:

Описание: C:\Users\Admin\Desktop\image010.gif



для интенсивности получается:



Когда рассматривают взаимодействие электромагнитных волн с веществом, также используют известное из механики понятие «количество движения» или «импульс». При этом подразумевается, что электромагнитная волна имеет некоторую электромагнитную массу , где h – некая постоянная, именуемая постоянной Планка, n – частота электромагнитной волны, с – скорость электромагнитной волны (скорость света), и эта волна якобы может переносить с собой некий электромагнитный импульс, выражающийся через «постоянную Планка», h, и через длину волны, λ: , который предполагается эквивалентным механическому импульсу частицы вещества,p=mv. И поскольку импульс электромагнитной волны считается полностью эквивалентным механическому импульсу частиц вещества, то при любом взаимодействии электромагнитной волны с веществом применяют закон сохранения импульса.

33. Интерференция света — нелинейное сложение интенсивностей двух или нескольких световых волн. Это явление сопровождается чередующимися в пространстве максимумами и минимумами интенсивности. Её распределение называется интерференционной картиной. При интерференции света происходит перераспределение энергии в пространстве.

Общий случай: при взятии интеграла

полагалось, что разность фаз не зависит от времени. Реальные же источники света излучают с постоянной фазой лишь в течение некоторого характерного времени, называемого временем когерентности. По этой причине, при рассмотрении вопросов интерференции оперируют понятием когерентности волн. Волны называют когерентными, если разность фаз этих волн не зависит от времени. В общем случае говорят, что волны частично когерентны. При этом поскольку существует некоторая зависимость от времени, интерференционная картина изменяется во времени, что приводит к ухудшению контраста либо к исчезновению полос вовсе. При этом в рассмотрении задачи интерференции, вообще говоря и не монохроматическгого (полихроматического) излучения, вводят понятие комплексной степени когерентности . Интерференционное соотношение принимает вид



Оно называется общим законом интерференции стационарных оптических полей.

**34. Многолучевая интерференция – участие в интерференции более 2 когерентных лучей.**

В случае многолучевой интерференции по сравнению с двухлучевой происходит резкое увеличение яркости светлых интерференционных полос с одновременным уменьшением их ширины. Многолучевую интерференцию можно осуществить в многослойной системе чередующихся пленок с разными показателями преломления, нанесенных на отражающую поверхность.

**35. Дифра́кция во́лн - явление, которое можно рассматривать как отклонение от законов** геометрической оптики при распространении волн. Первоначально понятие дифракции относилось только к огибанию волнами препятствий, но в современном, более широком толковании, с дифракцией связывают весьма широкий круг явлений, возникающих при распространении волн в неоднородных средах, а также при распространении ограниченных в пространстве волн. Дифракция тесно связана с явлением интерференции. Более того, само явление дифракции зачастую трактуют как частный случай интерференции (интерференция вторичных волн).

Дифракция волн наблюдается независимо от их природы и может проявляться:

в преобразовании пространственной структуры волн. В одних случаях такое преобразование можно рассматривать как «огибание» волнами препятствий, в других случаях — как расширение угла распространения волновых пучков или их отклонение в определённом направлении;

в разложении волн по их частотному спектру;

в преобразовании поляризации волн;

в изменении фазовой структуры волн.

Дифракция Френеля (дифракция в сходящихся лучах) – это дифракция, осуществляемая в случае, когда на препятствие падает сферическая волна, а дифракционная картина наблюдается на конечном расстоянии от препятствия, вызвавшего дифракцию.

Дифракция на круглом отверстии.

Сферическая волна, распространяющаяся из точечного источника, встречает на своем пути препятствие с круглым отверстием. Дифракционная картина наблюдается на экране, параллельном плоскости отверстия и находящемся от него на расстоянии b. Амплитуда света в точке P экрана будет равна A=A1/2 (+-) A(m)/2

знак «плюс» берется для случая, когда отверстие открывает нечетное число m зон Френеля, а знак «минус» – для четного m. Дифракционная картина будет иметь вид чередующихся темных и светлых колец с центром в точке Р.

Дифракция на диске.

Сферическая волна, распространяющаяся из точечного источника, встречает на своем пути диск диаметром d. Диск закрывает первые m зон Френеля. Амплитуда колебания в точке Р равна A=A(m+1)/2

В точке Р в центре геометрической тени всегда наблюдается интерференционный максимум, называемый пятном Пуассона, соответствующий половине действия только первой (m + 1) открытой зоны Френеля, и окруженный концентрическими с ним темными и светлыми кольцами.

**36. Дифракция Фраунгофера** - наблюдается, когда на препятствие падает плоская волна, а источник света и точка наблюдения бесконечно удалены от препятствия, вызывающего дифракцию.

Дифракция на одной щели. Пусть плоская монохроматическая волна с длиной волны лямбда нормально падает на очень длинную щель шириной b(длина щели l >>b). Плоскость щели и экран Э параллельны.

Вследствие дифракции на узкой щели на экране наблюдается система интерференционных максимумов – размытых изображений источника света, разделенных темными промежутками интерференционных минимумов. Оптическая разность хода между волнами, исходящими от крайних точек щели равна треугольник=b\*sin(фи)

Результат интерференции света в точке Р (побочный фокус) определяется тем, сколько зон Френеля укладывается в щели.

1) если число m зон Френеля четное, то условие дифракционного минимума (полная темнота) имеет вид

b\*sin(фи)=(+-)m\*лямбда

2) если число m зон Френеля нечетное, то условие дифракционного максимума, соответствующего действию одной некомпенсированной зоны Френеля, записывается так:

b\*sin(фи)=(+-)(2\*m+1)\*лямбда/2

Знак «минус» в правой части формул соответствует лучам света, распространяющимся от щели под углом ?фи.

Одномерная дифракционная решетка – это система параллельных щелей равной ширины, лежащих в одной плоскости и разделенных равными по ширине непрозрачными промежутками.Дифракционная картина является результатом взаимной интерференции волн, идущих от всех щелей. Период (постоянная) дифракционной решетки: d=1/N, где N - число щелей, приходящееся на единицу длины.

Прежние (главные) минимумы интенсивности: b\*sin(фи)=(+-)m\*лямбда; дополнительные минимумы: d\*sin(фи)=(+-)(2\*m+1)\*лямбда/2; узкие главные максимумы: d\*sin(фи)=(+-)n\*лямбда, n-порядком главного максимума.

Разность хода (треугольник) лучей, идущих от двух соседних щелей, будет для данного направления фи одинакова в пределах всей дифракционной решетки: треугольник=d\*sin(фи).

Пространственной (трехмерной) дифракционной решеткой называется оптически неоднородная среда, неоднородности которой периодически повторяются при изменении всех трех пространственных координат.