

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
Д.А. Зубцов
____ декабря 2013 г.

ПРОГРАММА

по курсу: ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

по направлению: прикладная математика и информатика

факультет: ФНБИК

кафедра: физики и физического материаловедения

курс: 1

семестр: 2

лекции: 32 часа

практические (семинарские) занятия: 32 часов

лабораторные занятия: нет

самостоятельная работа: 2 часа в неделю

экзамен: нет

зачет (с оценкой) : 5 семестр

ВСЕГО ЧАСОВ: 64

Программу и задание составил:

к.ф.-м.н., Строев Андрей Юрьевич

Программа утверждена на заседании кафедры физики и
физического материаловедения ____ декабря 2013 года

Заведующий кафедрой

А.Л. Барабанов

ТЕМЫ

- **Тема 1.** Постоянное электрическое поле. Электрические заряды. Закон Кулона. Электрическое поле как векторное поле. Напряжённость E электрического поля. Единицы СИ и СГСЭ измерения электрических величин. Принцип суперпозиции. Непрерывное распределение зарядов. Поток векторного поля. Теорема Гаусса для электрического поля в вакууме. Электрическое поле заряженных тел: сферы, шара, нити, цилиндра, плоскости, слоя.
- **Тема 2.** Потенциал электрического поля. Линейный интеграл и циркуляция векторного поля. Потенциальные и вихревые векторные поля. Потенциальность постоянного электрического поля. Теорема о циркуляции электростатического поля. Потенциал электрического поля. Потенциал поля точечного заряда. Связь напряжённости поля с градиентом потенциала. Электрическое поле системы зарядов на большом удалении от этой системы. Электрический диполь. Потенциал и напряжённость поля электрического диполя.
- **Тема 3.** Поток и дивергенция векторного поля. Теорема Гаусса-Остроградского. Дифференциальная форма теоремы Гаусса. Вычисление дивергенции в декартовой системе координат. Уравнение Пуассона для потенциала постоянного электрического поля. Общая задача электростатики. Метод изображений.
- **Тема 4.** Циркуляция и ротор векторного поля. Теорема Стокса. Дифференциальная форма теоремы о циркуляции электростатического поля. Вычисление ротора в декартовой системе координат.
- **Тема 5.** Электрическая ёмкость. Конденсаторы. Энергия взаимодействия зарядов. Энергия электрического поля и её локализация в пространстве. Сила, действующая на элемент поверхности проводника. Давление электрического поля. Энергия диполя в электрическом поле и момент сил, действующих на диполь. Сила, действующая на диполь в неоднородном электрическом поле.
- **Тема 6.** Электрическое поле в веществе. Электрическая поляризуемость атомов и молекул. Вектор поляризации вещества (диэлектрика). Свободные и связанные заряды. Диэлектрическая восприимчивость и диэлектрическая проницаемость вещества. Индукция \mathbf{D} электрического поля. Характер изменения напряжённости \mathbf{E} и индукции \mathbf{D} электрического поля на границе раздела двух диэлектриков. Энергия электрического поля

в диэлектрической среде.

- **Тема 7.** Электрический ток. Постоянный ток. Сила и плотность тока. Уравнение непрерывности электрического заряда. Закон Ома в интегральной и дифференциальной формах. Электродвижущая сила. Правила Кирхгофа. Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля-Ленца. Объёмные токи.
- **Тема 8.** Постоянное магнитное поле. Магнитное поле постоянных токов в вакууме как векторное поле. Индукция \mathbf{B} магнитного поля. Закон Био-Савара-Лапласа. Силы Ампера и Лоренца. Магнитное поле прямого провода. Взаимодействие параллельных проводов. Магнитное поле витка с током. Магнитное поле соленоида. Единицы СГСЭ и СГСМ. Опыт Вебера-Кольрауша и электродинамическая постоянная. Единицы СИ и ГС измерения магнитных величин.
- **Тема 9.** Теорема Гаусса для постоянного магнитного поля в интегральной и дифференциальной формах. Циркуляция и ротор векторного поля. Теорема Стокса. Теорема о циркуляции магнитного поля в интегральной и дифференциальной форме. Магнитное поле толстого провода, коаксиального кабеля, соленоида, движущейся заряженной плоскости. Магнитный момент плоского контура с током. Магнитное поле системы токов на большом удалении от системы. Магнитный диполь. Момент сил, действующих на диполь, и энергия диполя в магнитном поле. Сила, действующая на магнитный диполь (контур с током) в неоднородном магнитном поле.
- **Тема 10.** Магнитное поле в веществе. Магнитные моменты атомов и молекул. Качественные представления о механизме намагничивания парамагнетиков и диамагнетиков. Вектор \mathbf{M} намагниченности вещества. Свободные токи и токи намагничивания. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость вещества. Напряжённость \mathbf{H} магнитного поля. Характер изменения напряжённости и индукции магнитного поля на границе раздела двух магнетиков. Ферромагнетики и гистерезис. Магнитные свойства сверхпроводников первого рода.
- **Тема 11.** Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Преобразования полей \mathbf{E} и \mathbf{B} при переходе из одной инерциальной системы отсчёта в другую (при $v \ll c$). Электромагнитная индукция в движущихся и неподвижных проводниках. Электродвижущая сила индукции (закон Фарадея). Правило Ленца. Вихревое электрическое поле. Непрерывность силовых линий магнитного поля. Первая пара уравнений Максвелла.

- **Тема 12.** Ток смещения. Вторая пара уравнений Максвелла. Полная система уравнений Максвелла в вакууме. Волновое уравнение. Электромагнитные волны в свободном пространстве, скорость их распространения. Электромагнитная природа света.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.3 Электричество. - Москва, Наука, 1996.
- 2. Кингсепп А.С., Локшин Г.Р., Ольхов О.А. Основы физики. Курс общей физики. Т.1. Механика. Электричество и магнетизм. Колебания и волны. Волновая оптика. Под ред. А.С. Кингсеппа - Москва, Физматлит, 2001.
- 3. Парселл Э. Берклеевский курс физики. Т.2. Электричество и магнетизм. - Москва, Наука, 1983.
- 4. Козел С.М., Лейман В.Г., Локшин Г.Р., Овчинкин В.А., Прут Э.В. Сборник задач по общему курсу физики. Ч.2. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред. В.А. Овчинкина. - Москва, Изд-во МФТИ, 2000.

Дополнительная литература

- 5. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. - Москва, Лаборатория Базовых Знаний, 2000.
- 6. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., Фейнмановские лекции по физике. Том2. Вып. 5,6,7. Электричество и магнетизм. Электродинамика. Физика сплошных сред. - Москва, Мир, 1977.

ЗАДАНИЕ

Задание по теме 1.

1-1) По двум длинным прямым проводам, расположенным параллельно на расстоянии d друг от друга, равномерно распределены разноимённые заряды с линейной плотностью $+\lambda$ и $-\lambda$. Найти напряжённость электрического поля в точке, находящейся на расстоянии h от плоскости, в которой лежат провода, и равноудалённой от проводов. Рассмотреть предел $d \rightarrow 0$ и $\lambda \rightarrow \infty$, если $d\lambda = \varkappa = \text{const}$.

1-2) Диск радиусом R заряжен равномерно с поверхностной плотностью σ . Найти напряжённость электрического поля в точке, которая находится на расстоянии h от диска на перпендикуляре, проходящем через центр диска. Рассмотреть также предельные случаи $R \gg h$ и $R \ll h$.

1-3) В равномерно заряженном бесконечном плоском слое толщины d с объёмной плотностью зарядов ρ вырезана сферическая полость. Центр полости находится в середине между поверхностями слоя, диаметр полости меньше толщины слоя d . Найти напряжённость электрического поля в полости (зависимости $E_x(x, y, z)$, $E_y(x, y, z)$ и $E_z(x, y, z)$, если начало координат помещено в центр полости, а ось x перпендикулярна слою).

Задание по теме 2.

2-1) Найти зависимость потенциала электростатического поля от расстояния до оси бесконечного равномерно заряженного цилиндра радиуса R . Объёмная плотность зарядов в цилиндре равна ρ . Принять, что потенциал на оси цилиндра равен 0. Нарисовать график полученной зависимости.

2-2) Длинная проводящая проволока радиуса поперечного сечения r помещена в однородное электрическое поле \mathbf{E}_0 , направленное вдоль оси z поперёк оси проволоки (оси x). Найти плотность $\sigma(\varphi)$ распределения заряда по поверхности проволоки (φ – это азимутальный угол между направлением на точку поверхности из точки на оси проволоки и осью z).

2-3) Металлический шар радиусом R_1 , несущий заряд Q , находится внутри сферического металлического слоя с внутренним радиусом R_2 и внешним радиусом R_3 (центры шара и слоя совпадают). Найти потенциал и напряжённость электрического поля в зависимости от расстояния от центра шара. Построить графики полученных зависимостей. Чему равны потенциалы проводников? Что изменится, если проводящий сферический слой заземлить? Нарисовать графики соответствующих зависимостей для этого нового случая.

Задание по теме 3.

3-1) Вычислить напряжённости электрического поля равномерно заряженных: (1) шара радиуса R и (2) бесконечной пластины толщины h , используя

теорему Гаусса в дифференциальной форме. В обоих случаях объёмная плотность зарядов равна ρ .

3-2) В начале координат расположен электрический диполь \mathbf{p} , направленный вдоль оси x . Вычислить поток электрического поля этого диполя через круг радиуса R , перпендикулярный оси x , с центром на оси x в точке x_0 . Обсудить пределы $R \rightarrow 0$ и $R \rightarrow \infty$.

3-3) Заряд q находится на расстоянии $R/2$ от центра тонкостенной металлической изолированной сферы радиуса R . Заряд сферы равен Q . Найти силу, действующую на заряд, а также поверхностную плотность зарядов на сфере в самой ближней к заряду и самой дальней от заряда точках.

Задание по теме 4.

4-1) Вычислить дивергенцию и ротор поля $\mathbf{E}(x, y, z) = (2y, 2x + 3z, 3y)$. Является ли это поле потенциальным? Если да, то найти его потенциал $\varphi(x, y, z)$. Проверить, что линейный интеграл от \mathbf{E} между произвольными точками A и B совпадает с убылью потенциала $\varphi_A - \varphi_B$.

4-2) На плоскости задано поле $\mathbf{E}(x, y) = (axy, b(x^2 - y^2))$, где a и b – постоянные. При каком соотношении между постоянными a и b поле \mathbf{E} является потенциальным? Для найденных a и b определить потенциал $\varphi(x, y)$, а также плотность заряда $\rho(x, y)$, формирующего это поле.

4-3) Вычислить дивергенцию и ротор поля:

$$\mathbf{E}(x, y, z) = \left(\frac{qx}{R^3}, \frac{qy}{R^3}, \frac{qz}{R^3} \right), \quad r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} < R,$$

$$\mathbf{E}(x, y, z) = \left(\frac{qx}{r^3}, \frac{qy}{r^3}, \frac{qz}{r^3} \right), \quad r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \geq R,$$

где q – постоянная. Является ли это поле потенциальным? Если да, то определить потенциал $\varphi(x, y)$, а также плотность заряда $\rho(x, y)$, формирующего это поле.

Задание по теме 5.

5-1) Внутри равномерно заряженной сферы радиуса R и постоянного заряда Q находится проводящая сфера радиуса $r < R$ и заряда q (центры сфер совпадают). Заряд q может меняться. Найти энергию W системы в зависимости от заряда q . При каком q эта энергия минимальна? Какой заряд установится на внутренней сфере, если её заземлить?

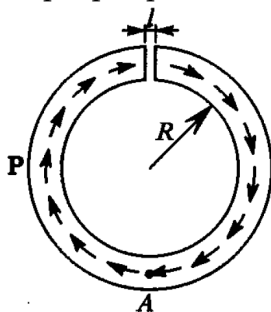
5-2) Предположим, что энергия покоя электрона $E_0 = mc^2$ есть не что иное, как энергия электрического поля покоящегося электрона. Считая электрон сферическим, найти радиус электрона при двух предположениях: (1) весь заряд электрона распределён равномерно по его поверхности; (2) весь заряд электрона равномерно распределён по его объёму. Полученные ответы выражаются через одну и ту же комбинацию мировых констант: элементарного

заряда e , массы электрона m и скорости света c . Саму эту комбинацию r_0 называют классическим радиусом электрона. Вычислить r_0 , если $e = 4.8 \cdot 10^{-10}$ СГСЭ, $m = 0.91 \cdot 10^{-27}$ г и $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с. В случае, когда заряд распределён по поверхности, вычислить также давление (в атм) изнутри на поверхность электрона.

5-3) В безграничном плоском слое толщиной $2l$ объёмная плотность заряда изменяется по закону $\rho = \rho_0 x/l$ ($-l < x < l$), где x – ось, перпендикулярная слою (нуль находится в середине слоя). В слое имеется тонкий канал вдоль оси x , в который помещён точечный диполь с массой m и дипольным моментом \mathbf{p} , направленным вдоль канала. Вычислить частоту малых колебаний диполя вдоль оси x (направление момента \mathbf{p} в процессе колебаний не меняется).

Задание по теме 6.

6-1) Диэлектрический образец с замороженной поляризацией \mathbf{P} имеет форму полого цилиндра с разрезом. На рисунке показано сечение этого цилиндра и направление вектора поляризации. Толщина стенки цилиндра $h \ll R$, где R – радиус цилиндра; ширина разреза $l \ll h$. Найти электрическое поле \mathbf{E} и индукцию \mathbf{D} в точке A и в центре разреза.

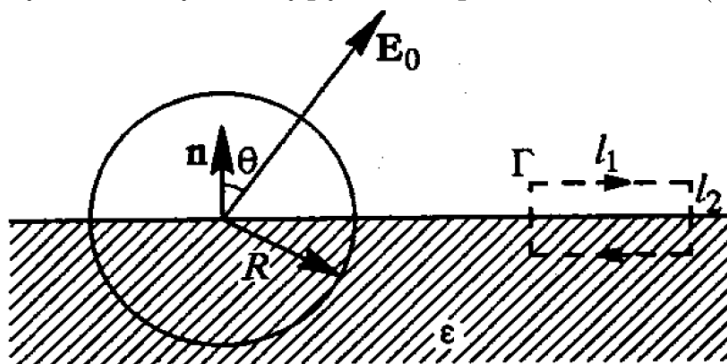


К задаче 6-1)

6-2) Диэлектрическая пластина толщины h с замороженной однородной поляризацией \mathbf{P} помещена внутрь плоского конденсатора параллельно его обкладкам (площади боковых граней пластины равны площадям обкладок) и не примыкает к ним. Расстояние между обкладками равно d ($d > h$). Вектор \mathbf{P} перпендикулярен боковым граням пластины и обкладкам конденсатора. Обкладки соединены проводом. Найти напряжённость $E_x(x)$ и индукцию $D_x(x)$ электрического поля внутри вне пластины (ось x перпендикулярна пластине и направлена вдоль вектора \mathbf{P}). Нарисовать графики этих функций.

6-3) Напряжённость электрического поля в вакууме вблизи плоской поверхности однородного диэлектрика с проницаемостью ϵ равна \mathbf{E}_0 и составляет угол θ с нормалью \mathbf{n} к поверхности диэлектрика. Считая поля внутри и вне диэлектрика однородными, найти: (1) потоки Φ_E и Φ_D векторов \mathbf{E} и \mathbf{D} соответственно через поверхность сферы радиуса R , центр которой лежит на

поверхности диэлектрика; (2) циркуляции C_E и C_D векторов \mathbf{E} и \mathbf{D} соответственно по прямоугольному контуру со сторонами l_1 и l_2 (см. рис.).



К задаче 6-3)