

Электродинамика

1. Математические методы электродинамики.

Элементы векторного и тензорного исчисления (краткая сводка основных формул и понятий). Специальные функции математической физики.

2. Основные понятия электродинамики.

Электрический заряд. Закон Кулона. Электрическое поле в пустоте. Потенциал и напряженность электрического поля. Уравнения электростатики: уравнение Пуассона и электростатическая теорема Гаусса. Граничные условия. Разложение поля по мультиполям. Энергия и силы в электростатическом поле. Электрическое поле в диэлектриках.

3. Некоторые общие теоремы электростатики.

Теорема единственности решения. Теорема о минимуме и максимуме потенциала. Теорема Ирншоу. Теорема взаимности. Классификация задач электростатики, прямые и обратные задачи.

4. Прямая задача электростатики для безграничной однородной среды.

Функция Грина. Общее решение уравнения Пуассона. Потенциал простого и двойного слоя. Поле произвольной системы зарядов на большом расстоянии от нее. Разложение по мультиполям. Дипольный момент. Тензор квадрупольного момента.

5. Методы решения прямой задачи при наличии проводников и неоднородных диэлектриков (краевые задачи).

Конструктивные методы: метод изображений; метод заполнения диэлектриком. Метод разделения переменных. Разделение переменных в уравнении Лапласа в декартовой системе координат (иллюстрация метода). Задача о диэлектрическом шаре в однородном внешнем поле. Понятие о методе инверсии, методе конформных преобразований, методе возмущений.

6. Дискретное описание электростатических систем.

Линейные соотношения между зарядами и потенциалами проводников. Свойства потенциальных и емкостных коэффициентов. Понятие емкости. Электростатические цепи.

7. Основные понятия электродинамики. Магнитостатика.

Стационарное магнитное поле в пустоте. Напряженность магнитного поля. Уравнения магнитостатики. Векторный потенциал магнитного поля. Уравнение Пуассона для векторного потенциала. Граничные условия. Поле соленоида. Плотность тока и магнитное поле. Закон Био-Савара. Сила Лоренца и формула Ампера. Энергия и силы в постоянном магнитном поле. Сохранение электрического заряда и уравнение непрерывности. Магнитный дипольный момент. Поле в магнетиках. Коэффициент взаимной индукции двух контуров с током. Коэффициент самоиндукции. Энергетическое значение коэффициентов индукции.

8. Сохранение заряда, энергии, импульса, момента импульса электромагнитного поля.

Плотность и поток энергии электромагнитного поля. Теорема Пойнтинга. Импульс и момент импульса электромагнитного поля.

9. Нестационарное (квазистационарное) электромагнитное поле.

Закон электромагнитной индукции. Токи смещения. Уравнения Максвелла и общие свойства электромагнитных полей. Системы единиц измерения электрических и магнитных величин: абсолютная и другие системы единиц. Электродинамическая постоянная.

9.1 Уравнение Максвелла в дифференциальной и интегральной формах для полей, зарядов и токов в вакууме. Постулаты, связывающие электромагнитные явления с механическими. Пределы применимости уравнений классической электродинамики.

9.2 Важнейшие общие свойства уравнений Максвелла и их решений. Скаляры, векторы и псевдовекторы в уравнениях Максвелла. Линейность уравнений и принцип суперпозиции решений. Обратимость уравнений во времени. Принцип перестановочной двойственности и магнитные источники.

9.3 Законы сохранения, следующие из уравнений Максвелла. Закон сохранения заряда (уравнение непрерывности). Закон сохранения энергии (теорема Пойнтинга). Вектор Пойнтинга и понятие потока электромагнитной энергии. Закон сохранения импульса. Понятие плотности электромагнитного импульса и тензора натяжений для поля в вакууме.

9.4 Теорема единственности решения уравнений Максвелла при заданных начальных и граничных условиях.

9.5 Классификация основных типов электромагнитных явлений: электростатика, токостатика, магнитостатика, квазистационарные процессы, быстропеременные (волновые) поля.

10 Потенциалы электромагнитного поля. Переменные электромагнитные поля; общее описание.

10.1 Постановка задачи и различные приближения. Описание переменного электромагнитного поля в общем случае. Описание с помощью потенциалов. Скалярный и векторный потенциалы. Градиентная инвариантность. Запаздывающие и опережающие потенциалы. Калибровочная инвариантность. Условие калибровки Лоренца и Кулона. Дифференциальные уравнения для потенциалов. Уравнение Даламбера и волновое уравнение. Решение волнового уравнения и уравнения Даламбера. Вектор Герца. Магнитные потенциалы.

10.2 Гармонические процессы. Комплексная запись полей и уравнений Максвелла. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Связь комплексных полей с

потенциалами. Возможность оперирования с произведением комплексных векторов.

Комплексная теорема Пойнтинга.

10.3 Функция Грина и общее решение неоднородного волнового уравнения.

Представление потенциалов в виде интегралов по области источников. Условие излучения.

10.4 Простейшая излучающая система - элементарный электрический вибратор (диполь Герца).

Общее выражение для поля излучения, структура поля в квазистатической и волновой зонах. Диаграмма направленности; сопротивление излучения. Поле магнитного диполя (с использованием принципа двойственности).

10.5 Общее представление поля излучения произвольной системы заданных

гармонических токов в дальней зоне. Вектор излучения как пространственная Фурье-гармоника плотности тока. Основные характеристики направленности излучающей системы. Потенциалы Лиенара – Вихерта. Излучение движущегося заряда.

Радиационное торможение.

11 Электромагнитные волны.

Плоская электромагнитная волна в однородной и изотропной среде. Монохроматическая плоская волна. Немонохроматические волны. Излучение электромагнитных волн. Поле движущегося заряда и системы зарядов. Дипольное, магнито-дипольное и квадрупольное излучение. Рассеяние электромагнитных волн.

12 Специальная теория относительности.

12.1 Принцип относительности. Экспериментальные обоснования специальной теории относительности. Инерциальные системы отсчета. Независимость скорости света от движения источника. Преобразования Лоренца для координат и времени. Свойства пространства-времени и интервал.

12.2 Релятивистская кинематика. Закон сложения скоростей. Преобразование промежутков времени, длин и углов. Релятивистское обобщение уравнений механики

Ньютона. Уравнение движения релятивистской заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле. Функция Лагранжа.

12.3 Законы преобразования энергии и импульса. Связь энергии, импульса, массы и скорости релятивистской частицы. Принцип стационарного действия в электродинамике. Уравнения движения релятивистской заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле в форме Лагранжа.

12.4 Четырехмерный формализм Минковского.

13 Уравнения электродинамики в четырехмерной форме.

13.1 Четырехмерный потенциал. Ковариантная запись закона сохранения заряда.

Законы преобразования плотностей заряда и тока. Ковариантная запись калибровочного условия Лоренца и уравнений для потенциалов. Закон преобразования потенциалов.

13.2 Тензор электромагнитного поля. Ковариантная запись уравнений Максвелла для полей в вакууме.

13.3 Законы преобразования напряженностей поля. Инварианты электромагнитного поля. Инвариантность фазы. Законы преобразования частоты и волнового вектора электромагнитной волны.

13.4 Тензор энергии-импульса электромагнитного поля. Ковариантная запись законов сохранения. Плотность энергии, импульса и момента импульса электромагнитного поля.

Рекомендуемая литература (обязательная)

1. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теория поля. М.,Наука, 2001.
2. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М.,Наука, 2001.
3. И.Е.Тамм. Основы теории электричества. М.,Наука, 1978.
4. Дж.Джексон. Классическая электродинамика. М., Мир, 1965.

5. Л.А.Вайнштейн. Электромагнитные волны. М.,Сов.Радио, 1988.
6. В.В.Никольский, Т.Н.Никольская. Электродинамика и распространение радиоволн. М., Наука, 1989;
7. В.В.Никольский. Электродинамика и распространение радиоволн. М., Наука, 1978.
8. Л.Д.Гольдштейн, П.В.Зернов. Электромагнитные поля и волны. М., Высшая школа, 1971.
9. В.В.Батыгин, И.Н.Топтыгин. Современная электродинамика. Часть 1
Микроскопическая теория М.-Ижевск, 2005.
10. И.В.Савельев. Основы теоретической физики. Том 1. Механика, электродинамика. М. 2005.

Рекомендуемая литература (дополнительная)

1. В.Пановский, М.Филипс. Классическая электродинамика. М., ГИФМЛ, 1963.
2. Я.П.Терлецкий, Ю.П.Рыбаков. Электродинамика. М. Высшая школа, 1990.
3. С.И.Баскаков. Основы электродинамики. М.,Высшая школа, 1973.

Лектор: доцент физико-химического факультета МГУ Шкуринов А.П.