

Физика. Занятие №2, 16.09.2024

Рудяк А.С., СГУ им. Чернышевского
2 курс, «Программная инженерия»

Саратов, 2024

Содержание

Алгоритм описания ФС “Электромагнитное поле”	2
3. Выбор способа описания	2
4. Математическая модель	2
6. Анализ результатов	4
5. Решение уравнений состояния	4
Лекция 2. Электрическое поле в веществе	5

Алгоритм описания ФС “Электромагнитное поле”

3. Выбор способа описания



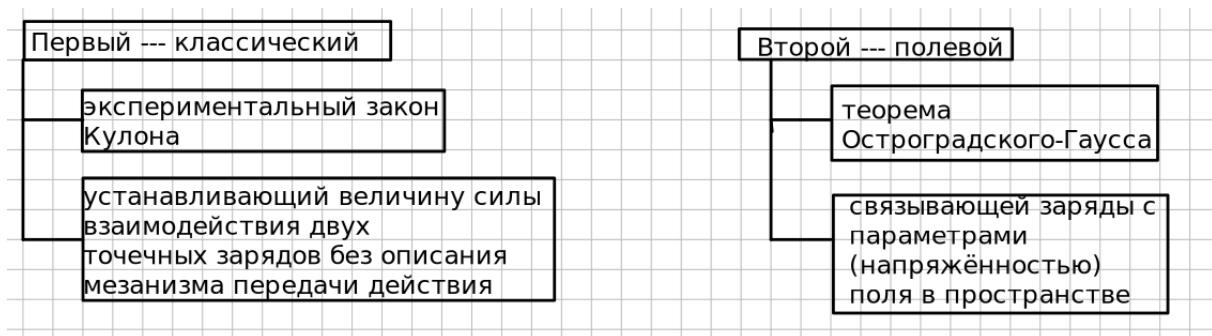
- Классический (Классическая модель)
 - Величина заряда может быть любой
 - Носители заряда - частицы
 - Расстояние между зарядами можно измерять с любой точностью
- Квантовый (Квантовая модель)
 - Величина заряда должна быть кратна элементарному, т.е. заряд дискретен (квантован)
 - Носители заряда могут обладать и волновой, и корпускулярной природой
 - Координату частицы-волны невозможно указать точно

Параметры состояния идеализированной системы

$E(r)$ - напряженность электрического поля определим как количественную меру свойства (а) электростатического поля: **численно равна силе, действующей на единичный положительный заряд, помещенный в данную точку поля;**

$\varphi_1 - \varphi_2 = (E * dr)$ - разность потенциалов двух точек поля определим как количественную меру свойства (b), т.е. способность совершать работу по перемещению зарядов: **численно равна работе сил поля по перемещению единичного положительного заряда из первой точки во вторую.** $E(r) = -\frac{d\varphi}{dr}$

4. Математическая модель



- Первый — Классический
 - Экспериментальный закон Кулона
 - Устанавливающий величину силы взаимодействия двух точечных зарядов без описания механизма передачи действия
- Второй — полевой
 - Теорема Остроградского-Гаусса
 - Связывающий заряды с параметрами (напряженностью) поля в пространстве.

Теорема Остроградского-Гаусса

Поток вектора напряженности электрического поля через любую замкнутую поверхность равен алгебраической сумме зарядов, находящихся внутри поверхности, деленной на электрическую постоянную ε_0

Данная теорема позволяет решать следующие задачи:

1. По заданной конфигурации зарядов можно определить электрическое поле.
2. По заданному электрическому полю можно найти конфигурации зарядов
3. Закон Кулона, определяющий силу взаимодействия точечных зарядов, может быть записан в полевой форме: $F_{21} = k \frac{|q_1||q_2|}{r^3} r$ $F = qE$

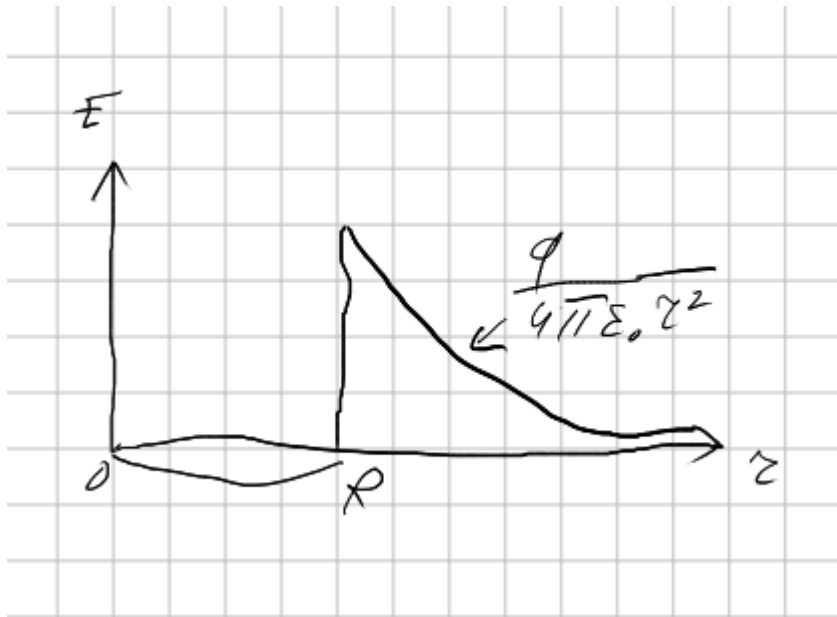
Принцип суперпозиции полей

Если электрическое поле образовано несколькими зарядами, то напряженность результирующего поля равна векторной сумме напряженностей полей каждого из зарядов.

$$E = \sum_{i=1}^n E_i; \varphi = \frac{U}{q} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i} = \sum_{i=1}^n \varphi_i$$

Пример 1

Если радиус заряженной сферы уменьшать, то в пределе получим напряженность поля точечного заряда $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$



6. Анализ результатов

Используя связь параметров, получим следующие уравнения.

- **Закон Кулона** для точечных зарядов $F_{21} = k \frac{|q_1||q_2|}{r^3} r$
- **Потенциал точки поля** (интеграл какой-то)
- **Потенциал системы неподвижных зарядов** (еще интеграл)
- **Напряженность поля E** = что-то теорема

Используя связь параметров, получим следующие уравнения.

- **Разность потенциалов** между двумя точками поля $\delta\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$
- **Работа сил электростатического поля** $A = \int_{r_1}^{r_2} F dr = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$
- **Циркуляция вектора E**. Если перемещение заряда происходит по произвольной, но замкнутой траектории L, то работа сил электростатического поля равна нулю: $\int_{L(E*...)} E ds = 0$

Пример 2 $\Phi_E = \Phi_{E_{\text{осн}}} + \Phi_{E_{\text{бок}}} = 2 \int_{S_{\text{осн}}} E ds + \int_{S_{\text{бок}}} E ds = 2ES_{\text{осн}} + 0 (\leq E \text{ перпенд } ds) = 2ES$
 $\Phi_E = \frac{\sum q_i}{\epsilon_0} = ()$

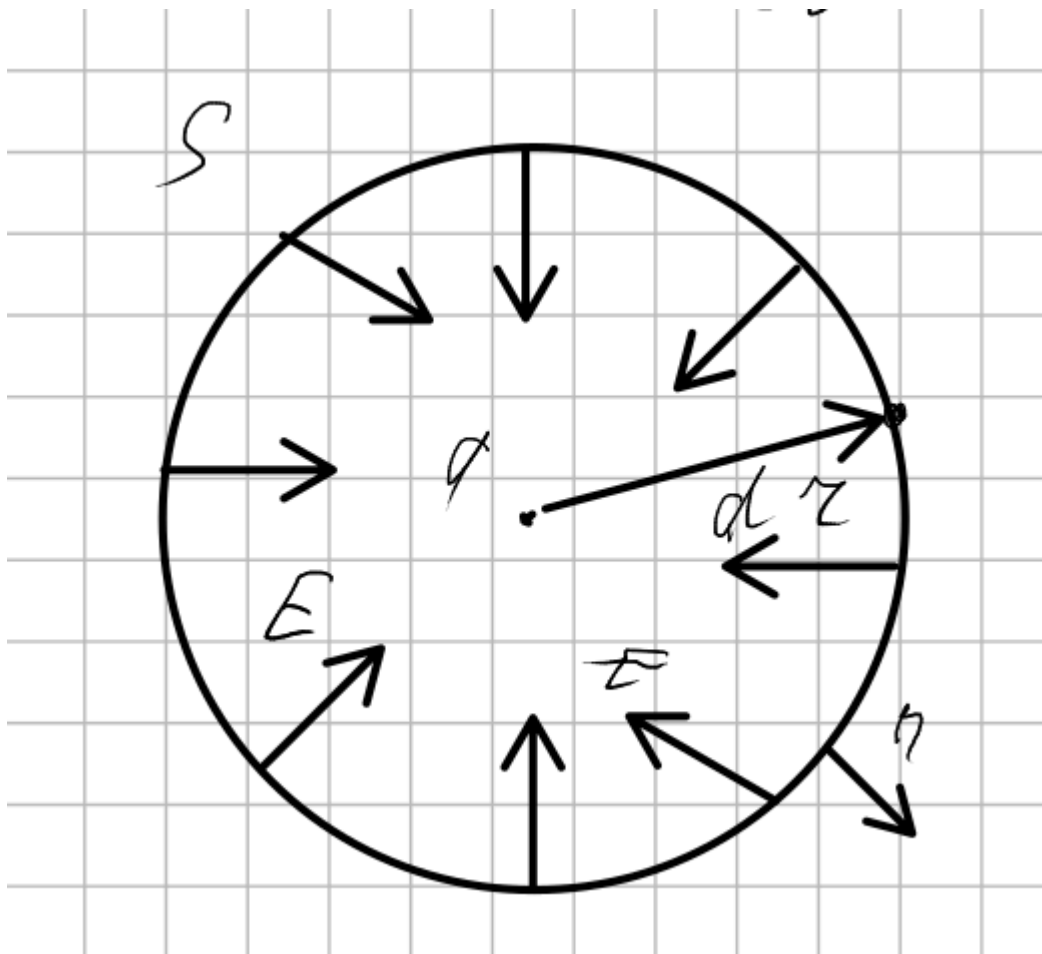
Пример 3

5. Решение уравнений состояния

На участке 2: векторы сонаправлены $E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ Поле сосредоточено между плоскостями. **Напряженность поля** во всех

точках этой области одинакова по величине и по направлению, т.е. **однородно**.

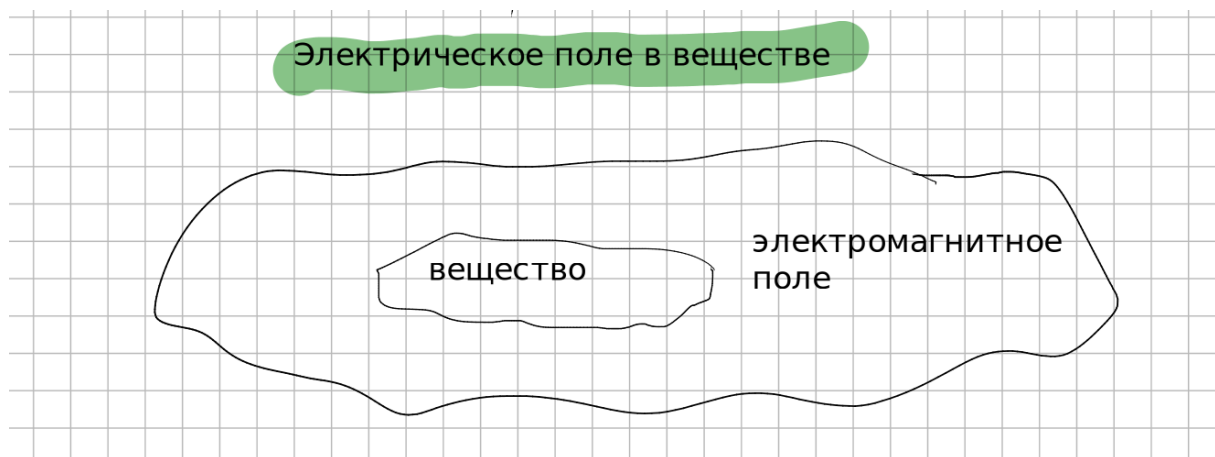
Теорема Ирншоу Система неподвижных электрических зарядов не может находиться в устойчивом равновесии. Заряд $+q$ будет находиться в равновесии, если при его перемещении на расстояние dr со стороны всех остальных зарядов системы, расположенных вне поверхности S , будет действовать сила F , возвращающая его в исходное положение. $\Phi_E = \dots$ Согласно теореме Гаусса, если заряды не охватываются замкнутой поверхностью, то $\Phi_E = 0$. **Противоречие** доказывает теорему Ирншоу.



Лекция 2. Электрическое поле в веществе

- Все вещества состоят из атомов и молекул, находящихся в непрерывном хаотичном движении и взаимодействующих между собой с силами притяжения и отталкивания электромагнитной природы

- В зависимости от внешних условий и внутренних сил взаимодействия, вещество может находиться в трех агрегатных состояниях
- Атом вещества представляет собой систему заряженных частиц (частей): протоны, нейтроны, электроны, (или ядро-электроны)
- Движущиеся заряды атомов испытывают воздействие внешнего как электрического, так и магнитного полей
- Движущиеся заряды атома порождают собственные электрические и магнитные поля, которые по принципу суперпозиции изменяют внешнее электромагнитное поле.



Зонная теория твердого тела — это теория валентных электронов, движущихся в периодическом потенциальном поле кристаллической решетки. **Энергетический спектр** — шкала количественных значений энергии электронов атомов данного вещества

Наивысшая из разрешенных энергетических зон в полупроводниках и диэлектриках, в которой при температуре 0 К все энергетические состояния заняты электронами, называются валентной, следующая за ней — зоной проводимости. В проводниках зоной проводимости называется наивысшая разрешенная зона, в которой находятся электроны при температуре 0 К.

Твёрдое вещество: Проводники, полупроводники, диэлектрики

Диэлектрики: активные (сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, пироэлектрики, электролюминофоры, электреты), пассивные (полярные, неполярные)

Электроны полностью заполненной зоны не могут принимать участия в создании электрического тока. Для появления электропроводности

необходимо часть электронов перевести из валентной зоны в зону проводимости.

Электроны, находящиеся в зоне проводимости, нельзя считать абсолютно свободными. Эти электроны взаимодействуют с периодическим потенциальным полем кристаллической решетки. При математическом описании поведения электронов в зоне проводимости используют понятие эффективной массы. Эффективная масса не определяет ни инерционных, ни гравитационных свойств электрона.

Ширина запрещенной зоны меняется с изменением температуры. Это происходит по двум основным причинам:: из-за изменения амплитуды тепловых колебаний атомов решетки и из-за изменения межатомных расстояний, т.е. объёма тела

Границы применимости:

1. Потенциал кристаллической решетки строго периодичен
2. Взаимодействие между свободными электронами может быть сведено к одноэлектронному самосогласованному потенциалу (а оставшаяся часть рассмотрена методом теории возмущений)
3. Взаимодействие с фотонами слабое (и может быть рассмотрено по теории возмущений).

Дополнения к физической модели:

- Полагаем, что свободных электронов в проводнике достаточно много (бесконечно много)
- На первом этапе внешнее электрическое (E_0) поле проникает в вещество
- Пренебрегаем хаотичным движением электронов

Для равновесия внутри проводника необходимы два условия: $E = E' + E_0 = 0$ и $\frac{d\varphi}{dr} = -E = 0 \Rightarrow \varphi_{\text{внутри}} = \text{const}$

Вне тела и вдоль поверхности проводника будет наблюдаться равновесие, если выполняется условие E перпенд $dr \Rightarrow (E dr) = 0 = -d\varphi$ $\varphi_{\text{поверхности}} = \text{const}$ Таким образом, чтобы заряд находился в равновесии, необходимо:

1. Напряженность поля внутри проводника
2. Внешняя напряженность поля перпендикулярна поверхности проводника
3. Потенциал на поверхности постоянен

Электростатическое поле перераспределяет заряды в нейтральном проводнике так, что его поверхность становится эквипотенциальной.

Примеры эквипотенциальных поверхностей:

1. Точечный заряд
2. Диполь
3. Два равных одноименных заряда

Возьмем проводник и начнём его заряжать. Чем больше заряд на проводнике, тем больше его потенциал. $q(t) = C\varphi(t), \Rightarrow C = \frac{q(t)}{\varphi(t)} = \frac{dq}{dU}$