

Урок №1 (06.09.2018)

Электростатика. Закон Кулона. Электрическое поле.

1. Явления и объяснения

- Электрические заряды.

Янтарь – волосы; стекло – шёлк.

Два типа зарядов. Притяжение разноимённых зарядов. Аддитивность электрического взаимодействия.

Электроскоп. Деление зарядов. Электризация (контактная и индукционная). Заземление. Стеkanie заряда на молекулы воды. Ионы.

Сохранение заряда.

Электрические силы в природе: упругость, молекулы и химические реакции, трение.

- Проводники и диэлектрики (изоляторы).

Перераспределение зарядов в металлах. Поведение заряженного металла и диэлектрика. *Объяснение:* строение металлов и диэлектриков, равновесие свободных электронов и положительных ионов.

Электрический ток. Электрическая батарея. Перенос энергии. Электрические приборы.

2. Электростатика

Почему статика? Рассмотрим, например, взаимодействие двух масс – по большому счету абсолютно безразлично, движутся они, или покоятся (нерелятивистский случай). Для зарядов это совсем не так.

Закон Кулона. Эксперимент Кулона (слабое подражание Кавендишу).

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Показатель степени измерен с точностью $2 \pm 2 \cdot 10^{-16}$.

$$k = 8,988 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$$

Другая форма:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}, \text{ где}$$

ϵ_0 – электрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 / \text{Н} \cdot \text{м}^2$

Сравним «силу» электрического и гравитационного взаимодействия: посчитаем силу притяжения в атоме водорода (по Бору):

$$q_{e^-} = -q_{p^+} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$F_e = 9 \cdot 10^9 \frac{1,60 \cdot 10^{-19} \times 1,60 \cdot 10^{-19}}{(10^{-10})^2} = 2,3 \cdot 10^{-10} \text{ Н}$$

$$F_G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \times 1,67 \cdot 10^{-27}}{(10^{-10})^2} = 1,0 \cdot 10^{-49} \text{ Н}$$

Почему же мы тогда всюду наблюдаем силы притяжения, и так тяжело измерить силы электрические (в «чистом» виде)?

Закон Кулона применим к точечным зарядам (или к заряженным шарам, в этом случае расстояние считается между центрами шаров).

Заряд не действует сам на себя!!!

Какое определение единицы заряда (1 К)? – Это чуть позже, когда будем изучать электрический ток.

3. **Электрическое поле**

Взаимодействие на расстоянии.

Похожесть законов всемирного тяготения и Кулона. Дальнодействие.

Почему $1/r^2$? Современное представление – виртуальный фотон, частица-переносчик взаимодействия.

Поле точечного заряда.

Исследуем, как заряд распространяет вокруг себя электрическое взаимодействие.

Запишем закон Кулона для некоторого выделенного заряда Q , взаимодействующего с остальными зарядами q_i вокруг: $F_i = \left(k \frac{Q}{r_i^2} \right) \cdot q_i$, где r_i – расстояние между выделенным зарядом Q и зарядом q_i .

Назовём заряд q_i *пробным* и опустим для краткости индекс i (просто считаем, что q – это какой-то заряд, лежащий на расстоянии r от нашего заряда Q). Мы видим в такой записи, что можно ввести величину $E(r) = k \frac{Q}{r^2}$, зависящую только от нашего выделенного заряда Q , которая показывает характер распространения электрического взаимодействия от этого заряда в пространстве. Другими словами, она описывает электрическое поле, возникающее вокруг заряда, как силу, которая действует в произвольной точке пространства на единичный

положительный заряд: $E(r) = \frac{F(r)}{q}$. Величина $E(r)$ называется *напряжённостью электрического поля*.

Сила, как известно, векторная величина. Электрические силы направлены вдоль прямой, соединяющей заряды. В свою очередь, направление вдоль этой прямой определяется знаками зарядов. Формально это правило направлений написать в векторном виде довольно сложно, мы это делать не будем.

Для сильных духом. Пусть заряды q_1 и q_2 находятся в точках с радиус-векторами \vec{r}_1 и \vec{r}_2 . Тогда квадрат расстояния между ними $r^2 = (\vec{r}_1 - \vec{r}_2)^2$, а вектор направления от первого заряда ко второму $\hat{i}_{12} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|}$. В итоге, векторная форма закона Кулона для этих двух зарядов выглядит так: $\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)^2} \cdot \hat{i}_{12}$

Суперпозиция полей.

Пусть у нас теперь есть несколько «выделенных» зарядов $Q_1 \dots Q_N$, расположенных как-то известным образом в пространстве. Очевидно, что если мы поместим в любую точку пространства \vec{r} (не совпадающую с теми, в которых находятся наши заряды) пробный заряд q , то на него будет действовать векторная сумма сил $\vec{F} = \vec{F}_1 + \dots + \vec{F}_N$ от всех наших зарядов.

Проводя аналогичные рассуждения, мы можем вынести пробный заряд за скобки и записать:

$$\vec{F} = \left(\frac{\vec{F}_1}{q} + \dots + \frac{\vec{F}_N}{q} \right) \cdot q = (\vec{E}_1 + \dots + \vec{E}_N) \cdot q = \vec{E}(\vec{r}) \cdot q.$$

Полученная величина $\vec{E}(\vec{r})$, определённая в любой точке пространства с радиус-вектором \vec{r} , описывает распределение электрического поля в пространстве. Заметим, что зная эту величину, нам уже не нужно рассматривать отдельные заряды, считать силы, возникающие от них. Чтобы найти силу, действующую на заряд q , помещённый в эту точку \vec{r} достаточно просто домножить напряжённость поля в этой точке на заряд: $\vec{F} = \vec{E} \cdot q$.

Напряжённость электрического поля также является векторной величиной. Направление в каждой точке совпадает с направлением силы, действующей на единичный положительный заряд в этой точке.

Напряжённость электрического поля $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ (В/м).

Обратите внимание, что если сила описывает конкретное взаимодействие двух зарядов, то напряжённость поля – это функция, описывающая электрическое поле во всём пространстве. Ввиду очень большой важности напряжённости поля, достаточно часто слово «напряжённость» опускают, и просто говорят «Поле \vec{E} ».

Свойства поля: сферическая симметрия поля точечного заряда (изотропность пространства); аддитивность (принцип суперпозиции).

Силовые линии электрического поля.

Свойства силовых линий:

- касательная к силовой линии в любой её точке совпадает с направлением вектора поля \vec{E} в этой точке;
- силовые линии начинаются и заканчиваются только на зарядах;
- «густота» силовых линий (т.е. число силовых линий проходящих через перпендикулярную единичную площадку) пропорциональна модулю вектора поля \vec{E} ;
- количество силовых линий, начинающихся или заканчивающихся на заряде, пропорционально заряду.

Как ведут себя силовые линии в диэлектрике и проводнике?

Изображение поля с помощью силовых линий. Проблема с изображением суперпозиции векторных полей.