

Задание

1. Рассмотреть теоретический материал темы, законспектировать решение типовых задач, решение задач для самостоятельного решения.

2. Фотоотчет и сообщение присылать на электронную почту

С уважением, Хвастов Александр Николаевич

!!! Если возникнут вопросы обращаться по телефону 0721098278 (ватсап). Электронная почта: hvastov@rambler.ru

Практическая работа Электрический заряд. Напряженность. Потенциал

1 Цель работы

1.1 Научиться применять закон Кулона для определения величин взаимодействующих зарядов, их масс и условий взаимодействия.

1.2 Научиться рассчитывать характеристики электрических полей.

1.3 Знать сущность электрических явлений.

2 Теоретическое обоснование темы, основные понятия и формулы

По закону Кулона сила взаимодействия между двумя точечными электрическими зарядами задается следующим выражением:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$$

где q_1 и q_2 – абсолютные значения зарядов;

r – расстояние между зарядами;

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся заряды;

ϵ_0 – электрическая постоянная.

В случае неточечных зарядов вводятся следующие понятия.

1 Линейная плотность заряда для равномерно заряженного проводника:

$$\tau = \frac{\partial q}{\partial \ell}$$

где $d\ell$ – элемент длины проводника;

dq – заряд этого элемента длины.

2 Поверхностная плотность заряда для равномерно заряженной поверхности:

$$\delta = \frac{\partial q}{\partial s}$$

где ds – элемент площади поверхности проводника;

dq – заряд этого элемента поверхности.

Приведем основные формулы для расчета напряженности электростатического поля.

					Лист
					4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Общее определение вектора напряженности поля:

$$E = \frac{F}{q}$$

Откуда сила, действующая на заряд q , помещенный в поле E :

$$F = q \cdot E$$

Напряженность поля точечного заряда или заряженной сферы:

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

где Q – заряд, создающий поле;

r - расстояние от заряда (или центра заряженной сферы) до данной точки поля.

Напряженность поля двух разноименно заряженной параллельной плоскости:

$$E = \frac{\delta}{2\epsilon\epsilon_0}$$

где σ – поверхностная плотность заряда;

ϵ - диэлектрическая проницаемость окружающей среды.

Напряженность двух разноименно заряженных параллельных плоскостей (поле плоского конденсатора):

$$E = \frac{\delta}{\epsilon\epsilon_0}$$

Если электрическое поле образовано несколькими точечными зарядами q_i , то его вектор напряженности E в данной точке равен векторной сумме напряженностей E_i полей, созданных в этой точке каждым зарядом в отдельности (принцип суперпозиции электрических полей):

$$E = \sum_{i=1}^n E_i$$

Как решать задачи, используя законы Кулона и сохранения электрического заряда?

- Закон Кулона справедлив для точечных зарядов. Электрические заряд называют точечными, если они распределяются в телах, размеры которых значительно меньше, чем любые другие расстояния, встречающиеся в данной задаче.
- Силы взаимодействия двух неподвижных точечных заряженных тел направлены вдоль прямой, соединяющей эти тела.
- Направление кулоновской силы зависит от знака зарядов взаимодействующих тел.

						Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- При недостатке электронов тело заряжено положительно, при избытке – отрицательно.
- Минимальный электрический заряд $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – модуль заряда электрона.
- Диэлектрическая проницаемость воздуха ε приблизительно равна единице.

Воспользуйтесь следующими дополнительными формулами:

$$S = g \cdot t; \quad g = g_0 + at; \quad h = g_0 t + \frac{at^2}{2}; \quad a = \frac{F}{m};$$

$$F = mg; \quad A = E_2 - E_1; \quad E_k = \frac{mg^2}{2}$$

- Если из условия задачи следует, что происходило перераспределение зарядов, то запишите формулы, выражающие закон сохранения заряда и закон Кулона, и решите полученную систему уравнений относительно искомой величины.
- Приступая к решению задач на равновесие электрического заряда, изучите соответствующую тему раздела "Механика".

Выполните задание

- 1 Из формулы $E = \frac{k|q_0|}{\varepsilon r^2}$ выразите $\varepsilon q_0 r$.
- 2 Из формулы $C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$ выразите S, d, ε .
- 3 Из формулы $W = CU^2/2$ выразите U .
- 4 Вычислите а) $10^5 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-8}$;
б) $9 \cdot 10^9 \cdot 1,2 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-19} / (2,4 \cdot 10^{-4})$.
- 5 Решите уравнение: $4:x^2=9:(x+1)^2$.
- 6 В прямоугольном треугольнике гипотенуза равна 10см, угол при вершине – 60° . Найдите его катеты.

3 Задание

Решить задачи для самостоятельного решения.

						Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 Алгоритм решения задач

- 4.1 Сделайте чертеж с указанием сил, действующих на точечный заряд, помещенный в электрическое поле.
- 4.2 Запишите условия равновесия заряда.
- 4.3 Выразите силы взаимодействия по закону Кулона.
- 4.4 Решите систему уравнений для определения искомой величины.
- 4.5 Проанализируйте результат и сформулируйте ответ.

5 Примеры решения задач

- 5.1 Задача. Найти силу электрического притяжения электрона к ядру атома водорода, если электрон находится на орбите радиусом $5,3 \cdot 10^{-9}$ см.

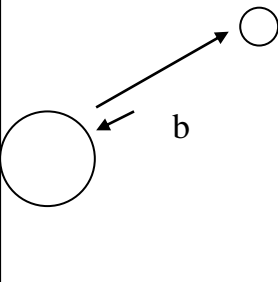
Дано:	СИ	Решение:
$r = 5,3 \cdot 10^{-9}$ см	$5,3 \cdot 10^{-11}$ м	$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$
$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл		Кулоновская сила является искомой, она равна:
$\epsilon = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м		$F = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{1,6^2 \cdot 10^{-38} \cdot 36\pi \cdot 10^9}{4\pi 5,3 \cdot 10^{-22}} = 8,2 \cdot 10^{-8}$ Н

$F = ?$

$$[F] = \left[\frac{\text{Кл}^2 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2 \cdot \text{м}^2} = \text{Н} \right]$$

Ответ: $F = 8,2 \cdot 10^{-8}$ Н

- 5.2 Задача. Поле создается металлическим шаром, радиус которого 10 см, а заряд 10^{-4} Кл. Нужно приблизить к нему другой стальной шарик радиусом 2 мм, заряженный до потенциала 300 В, на расстояние 20 см от поверхности первого шара. С какой скоростью для этого надо бросить из далека второй шар по линии центров?

Дано:	СИ	Решение:
$a = 10$ см	0,1 м	 <p>Потенциал поля заряда Q_0 в точках, бесконечно далеких от него, равен нулю. Второму шарик необходимо сообщить кинетическую энергию, численно равную работе отталкивания электрического поля на пути от бесконечности к заданной точке:</p>
$Q_0 = 10^{-4}$ Кл	$2 \cdot 10^{-3}$ м	
$r = 2$ мм	0,2 м	
$\varphi = 300$ В		
$b + r = 20$ см		
$g = ?$		

$$\frac{m\vartheta^2}{2} = Q(\varphi_1, \varphi_2)$$

где $\varphi_1=0$, $\varphi_2 = \frac{Q_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0(a+b+r)}$, а $Q = 4\pi\epsilon\epsilon_0 r\varphi$.

Работа получилась отрицательной именно потому, что это работа отталкивания, торможения. Таким образом:

$$\vartheta^2 = \frac{2Q\varphi_2}{m} = \frac{2 \cdot 4\pi\epsilon\epsilon_0 r\varphi Q_0 \cdot 3}{4\pi\epsilon\epsilon_0(a+b+r)\rho \cdot 4\pi r^3}$$

Откуда:

$$\vartheta = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{3Q_0\varphi}{2\pi\rho(a+b+r)}} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} \sqrt{\frac{3 \cdot 10^{-4} \cdot 300}{2\pi \cdot 7,8 \cdot 10^3 \cdot 0,3}} = 1,24 \text{ м/с}$$

$$[\vartheta] = \left[\frac{1}{\text{м}} \sqrt{\frac{\text{Кл} \cdot \text{В} \cdot \text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{м}}} = \frac{1}{\text{м}} \sqrt{\frac{\text{Кл} \cdot \text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{Кл} \cdot \text{кг} \cdot \text{м}}} = \frac{1}{\text{м}} \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}}} = \frac{1}{\text{м}} \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^4}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$$

Ответ: $\vartheta=1,24 \text{ м/с}$

5.3 Задача. Найдите напряженность и потенциал в точке в точке пересечения диагоналей квадрата со стороной $a=6\text{см}$, в вершинах которого расположены заряды $q_1=3 \cdot 10^{-9}\text{Кл}$, $q_2=4 \cdot 10^{-9}\text{Кл}$; $q_3=-3 \cdot 10^{-9}\text{Кл}$; $q_4=-4 \cdot 10^{-9}\text{Кл}$.

Дано:	СИ	Решение
$q_1=3 \cdot 10^{-9}\text{Кл}$,	6 · 10 ⁻² м	<p>Выполним чертеж. Поместим в точку А пробный положительный заряд и определим направление векторов $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \vec{E}_4$</p> <p>По принципу суперпозиций $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4$.</p> <p>Но \vec{E}_1 и \vec{E}_3 направлены по одной прямой. Поэтому $E' = \vec{E}_1 + \vec{E}_3$. Аналогично $E'' = \vec{E}_2 + \vec{E}_4$</p> <p>Но так как E' и E'' направлены под углом 90° (диагонали квадрата пересекаются под прямым углом), то по теореме Пифагора $E = \sqrt{E'^2 + E''^2}$.</p> <p>Но $E_1 = \frac{kq_1}{r^2}; E_2 = \frac{kq_2}{r^2}; E_3 = \frac{kq_3}{r^2}; E_4 = \frac{kq_4}{r^2}$,</p> <p>$r$ - половина диагонали квадрата ($2r^2 = a^2; r = \frac{a}{\sqrt{2}}$).</p>
$q_2=4 \cdot 10^{-9}\text{Кл}$		
$q_3=-3 \cdot 10^{-9}\text{Кл}$		
$q_4=-4 \cdot 10^{-9}\text{Кл}$		
$a=6\text{см}$		
$E=?$		
$\varphi=?$		

$$E = \sqrt{\left(\frac{2kq_1}{a^2} + \frac{2kq_3}{a^2}\right)^2 + \left(\frac{2kq_2}{a^2} + \frac{2kq_4}{a^2}\right)^2} = \frac{2k}{a} \sqrt{(q_1 + q_3)^2 + (q_2 + q_4)^2}.$$

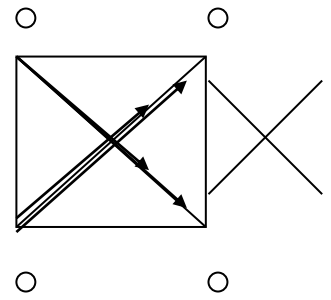
Заряды берутся по абсолютной величине, ибо знак заряда учтен при определении направления E . Потенциал в точке А равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых каждым зарядом в отдельности: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4$; где

$$\varphi_1 = \frac{kq_1\sqrt{2}}{a}; \varphi_2 = \frac{kq_2\sqrt{2}}{a}; \varphi_3 = \frac{kq_3\sqrt{2}}{a}; \varphi_4 = \frac{kq_4\sqrt{2}}{a};$$

$$E = \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^9}{36 \cdot 10^{-4}} \sqrt{(3 \cdot 10^9 + 3 \cdot 10^9)^2 + (4 \cdot 10^9 + 4 \cdot 10^9)^2} = 5 \cdot 10^4 \text{ В/м};$$

$$\varphi = \frac{9 \cdot 10^9 \sqrt{2}}{6 \cdot 10^{-2}} (3 \cdot 10^{-9} - 3 \cdot 10^{-9} + 4 \cdot 10^{-9} - 4 \cdot 10^{-9}) = 0$$

Ответ: $E = 5 \cdot 10^4 \text{ В/м}; \varphi = 0$



5.4 Задача. Определить линейную плотность бесконечно длинной заряженной нити, если работа сил поля по перемещению заряда $Q = 1 \text{ нКл}$ с расстояния $r_1 = 5 \text{ см}$ до $r_2 = 2 \text{ см}$ в направлении перпендикулярном нити, равно 50 мкДж .

Дано:	СИ	Решение:	
$Q = 1 \text{ нКл}$	10^{-9} Кл	$dA = Qd\varphi,$	$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}$
$r_1 = 5 \text{ см}$	$5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$	$d\varphi = -E dr,$	$A = -Q \int_{r_1}^{r_2} E dr,$
$r_2 = 2 \text{ см}$	$2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$		
$A = 50 \text{ мкДж}$	$5 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$	$A = -Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{\tau dr}{2\pi\epsilon_0 r} = -\frac{Q\tau}{2\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{Q\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_1}{r_2},$	
$\tau = ?$			

$$\tau = \frac{2\pi\epsilon_0 A}{Q \ln \frac{r_1}{r_2}}.$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^{-5}}{10^{-9} \ln \frac{5 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-2}}} = 3,03 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}$$

$$[\tau] = \left[\frac{\text{Кл}^2 \cdot \text{Дж}}{\text{Кл} \cdot \text{н} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Кл}}{\text{м}} \right]$$

Ответ: $\tau = 3,03 \text{ мкКл/м}$

6 Задачи для самостоятельного решения

- 1 Два одинаковых небольших шарика массой по 0,1г каждый подвешены на нитях длиной 25см. После того как шарикам были сообщены одинаковые заряды они разошлись на расстояние 5см. Определить заряды шариков.
- 2 Электрические заряды $5 \cdot 10^{-9}$ Кл и $4 \cdot 10^{-9}$ Кл расположены на расстоянии 10см друг от друга. При взаимодействии расстояние между ними возросло до 50см. Найти работу по перемещению заряда. Среда – вакуум.
- 3 В однородное электрическое поле, образованное двумя вертикальными пластинами, помещен шарик массой 2г, подвешенный на тонкой шелковой нити. Шарик сообщен заряд 10^{-6} Кл. Определить напряженность поля, если нить отклонилась на угол 30° .
- 4 Электрон вылетает из точки, потенциал которой 6000В имея скорость, направленную вдоль и равную $3 \cdot 10^7$ м\с. Определить потенциал точки, в которой скорость электрона станет равной нулю.
- 5 Для защиты от молнии взрывоопасные помещения покрывают металлической заземленной сеткой. Объясните, зачем это делают?

7 Контрольные вопросы

- 7.1 В чем сходство и различие закона всемирного тяготения и закона Кулона?
- 7.2 Чему равен коэффициент k в законе Кулона и каков его физический смысл?
- 7.3 Могут ли два одноименно заряженных шариков притягиваться?
- 7.4 Как изменится период колебаний маятника, если маятнику сообщить заряд и подвести к нему тело, обладающее зарядом той же величины и того же знака (противоположного знака)?
- 7.5 Объясните физический смысл взаимодействия Солнца и Земли, Земли и луны.
- 7.6 Какое электрическое поле называют однородным?
- 7.7 Что называют напряженностью электрического поля?
- 7.8 От чего зависит работа заряда из одной точки поля в другую?
- 7.9 Чему равна работа по перемещению заряда по замкнутому контуру?

8 Рекомендации по оформлению отчета

Отчет по практической работе должен быть оформлен в соответствии с ГОСТом 2.105-95 и едиными требованиями в колледже. Отчет должен содержать:

- вид работы;
- название работы;
- цель работы;
- решение задач по заданию, предложенному преподавателем;
- вывод.

Литература

- 1 Курс физики. Под ред. Трофимова Т.И. – М.: Высшая школа, 1998., с. 148-179.
- 2 Справочник по физике для студентов и абитуриентов. Под ред. Трофимова Т.И. – М.: АСТ, 2001., с. 71-85.
- 3 Физика. Под ред. Пинского А.А.-М.: Просвещение, 2002.

									Лист
									10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					