

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Физика»

П. А. Хило, Е. С. Петрова

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

ПРАКТИКУМ

по курсу «Физика»

**для студентов технических специальностей
дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2014

УДК 537(075.8)
ББК 22.33я73
Х45

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 8 от 28.05.2013 г.)*

Рецензент: канд. физ.-мат. наук, доц. каф. «Высшая математика»
ГГТУ им. П. О. Сухого *Л. Л. Великович*

Хило, П. А.
Х45 Электричество и магнетизм : практикум по курсу «Физика» для студентов техн. специальностей днев. формы обучения / П. А. Хило, Е. С. Петрова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2014. – 31 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://library.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.
ISBN 978-985-535-181-9.

Предназначен для самостоятельной подготовки студентов дневного отделения к практическим занятиям по курсу «Физика». Содержит примеры решения задач и набор тестовых заданий. Для студентов технических специальностей дневной формы обучения.

**УДК 537(075.8)
ББК 22.33я73**

ISBN 978-985-535-181-9

© Хило П. А., Петрова Е. С., 2014
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2014

Предисловие

Предлагаемое практическое пособие предназначено для самостоятельной подготовки студентов дневного отделения к практическим занятиям по курсу «Физика».

Пособие включает три раздела программы курса общей физики для инженерно-технических специальностей вузов: «Электростатика», «Постоянный ток», «Магнитное поле».

Каждый раздел содержит примеры решения задач и набор тестовых заданий. Пособие может быть использовано как для проведения практических занятий по физике, так и для текущего тестирования.

Электростатика

Примеры решения задач

Задача 1

Электрическое поле образовано точечным зарядом q . В точке A напряженность поля равна 90 В/м. В точке B напряженность поля 22 В/м. Точки A и B находятся на прямой, проходящей через заряд q . Напряженность электрического поля в точке, лежащей посередине отрезка AB , равна:

- 1) 22 В/м; 2) 40 В/м; 3) 45 В/м; 4) 56 В/м; 5) 62 В/м.

Решение

Обозначим расстояние от точечного заряда q до точки A через r_1 , а до точки B через r_2 . Тогда расстояние до точки C , лежащей посередине между точками A и B , равно:

$$r_C = r_1 + \frac{r_2 - r_1}{2} = \frac{r_2 + r_1}{2}.$$

Напряженности поля в точках A , B и C равны, соответственно:

$$E_A = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_1^2}, \quad E_B = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_2^2}, \quad E_C = \frac{4q}{4\pi\epsilon_0 (r_1 + r_2)^2};$$

$$r_{1,2} = \sqrt{\frac{kq}{E_{A,B}}}, \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}.$$

Подставляя значения r_1 и r_2 в выражение для E_C , получим:

$$E_C = \frac{4E_A E_B}{(\sqrt{E_A} + \sqrt{E_B})^2} = \frac{4 \cdot 90 \cdot 22}{(\sqrt{90} + \sqrt{22})^2} = 40 \text{ В/м.}$$

Ответ: 40 В/м.

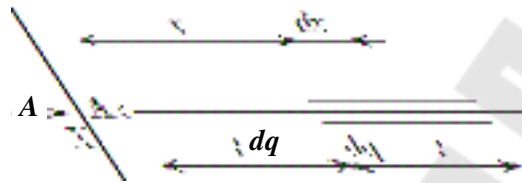
Задача 2

На тонком стержне длиной l равномерно распределен заряд с линейной плотностью $\tau = 10$ нКл/м². Найти потенциал ϕ , созданный распределенным зарядом в точке A , расположенной на оси стержня и удаленной от его ближайшего конца на расстояние l .

Решение

В задаче рассматривается поле, создаваемое распределенным зарядом. В этом случае поступают следующим образом. На стержне выделяют малый участок длиной dx . Тогда на этом участке сосредоточен заряд $dq = \tau \cdot dx$, который можно считать точечным. Потенциал $d\varphi$, создаваемый этим точечным зарядом в точке A , можно определить по формуле

$$d\varphi = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 x} = \frac{\tau dx}{4\pi\epsilon_0 x}.$$



Согласно принципу суперпозиции электрических полей потенциал электрического поля, создаваемого заряженным стержнем в точке A , найдем интегрированием этого выражения:

$$\varphi = \int_l^{2l} \frac{\tau dx}{4\pi\epsilon_0 x} = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0} \int_l^{2l} \frac{dx}{x}.$$

$$\text{Выполним интегрирование: } \varphi = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0} \ln x \Big|_l^{2l} = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0} \ln 2.$$

Подставим числовые значения физических величин в СИ $\tau = 10 \cdot 10^{-9}$ Кл/м, $1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9$ м/Ф и произведем вычисления: $\varphi = 9 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 0,693$ (В) = 62,4 В.

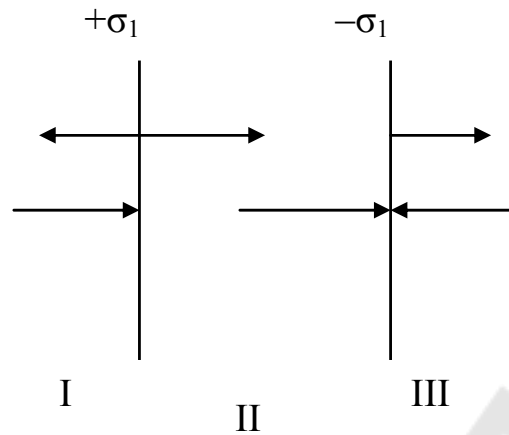
Ответ: $\varphi = 62,4$ В.

Задача 3

Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными плоскостями с поверхностными плотностями зарядов 30 и -40 нКл/м². Модули напряженностей электростатического поля вне пластин и между пластинами равны:

- 1) 0,6 кВ/м; 4,0 кВ/м;
- 2) 4,0 кВ/м; 0,6 кВ/м;
- 3) 1,2 кВ/м; 8,0 кВ/м;
- 4) 0,6 кВ/м; 1,2 кВ/м;
- 5) 4,0 кВ/м; 0,6 кВ/м.

Решение



Бесконечно заряженная плоскость образует однородное поле, линии напряженности которой представляют собой прямые, перпендикулярные плоскости и направленные к плоскости, если заряд на ней отрицательный, и от плоскости, если заряд положительный. Согласно принципу суперпозиции результирующее поле $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$, где $E_{1,2} = \frac{\sigma_{1,2}}{2\epsilon_0}$ – модули напряженностей полей отдельных плоскостей.

Из рисунка видно, что в областях I и III векторы напряженностей противоположно направлены, а в области II – сонаправлены. Поэтому модуль напряженности вне пластин:

$$|E_I| = |E_{III}| = \frac{|\sigma_2| - \sigma_1}{2\epsilon_0} = \frac{(40 - 30)10^{-9}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 565 \text{ В/м} \approx 0,57 \text{ кВ/м.}$$

Модуль напряженности поля между пластинами:

$$|E_{II}| = \frac{|\sigma_2| + \sigma_1}{2\epsilon_0} = \frac{(40 + 30)10^{-9}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 3955 \text{ В/м} \approx 4,0 \text{ кВ/м.}$$

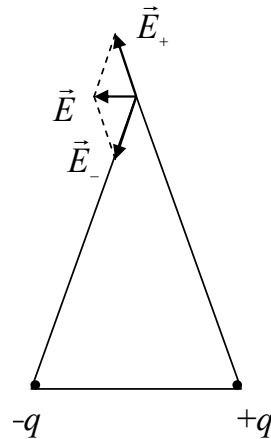
Ответ: 0,6 кВ/м; 4,0 кВ/м.

Задача 4

Расстояние между зарядами $+q$ и $-q$ диполя равно l . Модуль напряженности электрического поля в точке, находящейся на перпендикуляре к оси диполя на расстоянии r ($r \gg l$) от нее, равен E . Величина дипольного момента равна:

$$1) \frac{Er^2}{2k}; \quad 2) \frac{Er^3}{k}; \quad 3) \frac{Er^3}{2k}; \quad 4) \frac{2Er^3}{k}; \quad 5) \frac{2Er^2}{k}.$$

Решение



Электрический диполь – система двух равных по величине, противоположных по знаку зарядов, находящихся на расстоянии l друг от друга, малом по сравнению с расстоянием r до рассматриваемой точки поля. Электрический дипольный момент равен $\vec{p} = q\vec{l}$. В рассматриваемой точке поля модули вектора напряженности электрического поля для $+q$ и $-q$ зарядов равны:

$$E_+ = E_- = \frac{kq}{r^2 + \frac{l^2}{4}} \approx \frac{kq}{r^2},$$

где

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

Из подобия равнобедренных треугольников:

$$\frac{E}{E_+} = \frac{l}{\sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}} \approx \frac{l}{r}; \quad E = \frac{kql}{r^3} = \frac{kp}{r^3},$$

отсюда

$$p = \frac{E r^3}{k}.$$

Ответ: $p = \frac{E r^3}{k}.$

Тестовые задания

1. Два точечных заряда взаимодействуют в вакууме с некоторой силой. Как изменится сила их взаимодействия, если знак зарядов поменять на противоположный, а величину одного из зарядов и расстояние между ними увеличить в два раза?

1) не изменится; 2) увеличится в 2 раза; 3) увеличится в 4 раза; 4) уменьшится в 2 раза; 5) уменьшится в 4 раза.

2. Два одинаковых точечных заряда взаимодействуют в вакууме с некоторой силой. Если величину каждого заряда увеличить в 3 раза, а расстояние между зарядами уменьшить в 2 раза, то сила их взаимодействия увеличится в ... раз(а):

1) 4; 2) 9; 3) 18; 4) 36; 5) 72.

3. Под элементарным электрическим зарядом понимают:

- 1) заряд тела, размерами которого можно пренебречь;
- 2) заряд небольшого металлического шарика;
- 3) заряд, равный заряду электрона;
- 4) точечный электрический заряд;
- 5) заряд, равный 1 Кл.

4. На заряд $q = 5,0$ нКл в электростатическом поле действует сила, модуль которой $F = 2,50$ мкН. Модуль напряженности электрического поля равен:

1) $1,25 \cdot 10^{-15}$ В/м; 2) 2,00 м В/м; 3) 500 В/м; 4) 5,00 к В/м; 5) 500 к В/м.

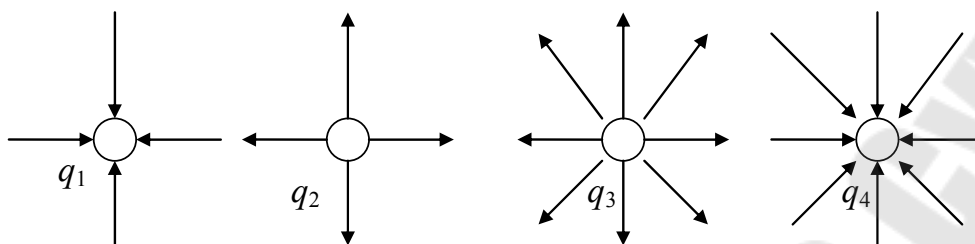
5. Три одинаковых точечных заряда по 20 нКл каждый расположены в вершинах равностороннего треугольника. На каждый заряд действует сила 10 мН. Длина стороны треугольника составляет:

1) 1,1 см; 2) 1,7 см; 3) 2,5 см; 4) 4,1 см; 5) 5,7 см.

6. Два точечных заряда 100 нКл и 200 нКл взаимодействуют в вакууме силой 1,8 Н. Расстояние, на котором находятся заряды, составляет:

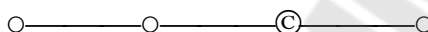
1) 1,0 м; 2) 10 см; 3) 10 мм; 4) 1,0 мм; 5) 0,1 мм.

7. На рисунке изображены поля уединенных точечных зарядов. Правильное соотношение модулей зарядов указано в случае:



- 1) $|q_1| = |q_2| > |q_3|$; 2) $|q_1| = |q_2| > |q_4|$; 3) $|q_1| = |q_2|$;
 4) $|q_1| > |q_2| > |q_3| > |q_4|$ и $|q_3| = |q_4|$; 5) $|q_3| = |q_4| < |q_2|$.

8. Даны три одинаковых точечных отрицательных заряда. Куда направлен вектор напряженности электрического поля E в точке C ?



1) влево; 2) вправо; 3) вверх; 4) вниз; 5) напряженность поля в точке C равна нулю.

9. Даны три одинаковых точечных положительных заряда. Куда направлен вектор напряженности электрического поля в точке C ?



1) влево; 2) вправо; 3) вверх; 4) вниз; 5) напряженность поля в точке C равна нулю.

10. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме выражается формулой:

- 1) $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \vec{r}$; 2) $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$; 3) $\Phi_E = BS \cdot \cos\alpha$;
 4) $\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_i^n I_i$; 5) $\Phi_E = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i^n q_i$.

11. На металлической сфере радиусом $R = 10$ см находится заряд $q = 1$ нКл. Определить напряженность \vec{E} электрического поля в следующих точках: 1) на расстоянии $r_1 = 8$ см от центра сферы; 2) на поверхности ее; 3) на расстоянии $r_2 = 15$ см от центра сферы. Построить график зависимости $E(r)$.

- 1) 1400 В/м, 900 В/м, 400 В/м;
- 2) 0 В/м, 900 В/м, 400 В/м;
- 3) 0 В/м, 90 В/м, 40 В/м;
- 4) 140 В/м, 90 В/м, 40 В/м;
- 5) Нет правильных ответов.

12. Приведите в соответствие:

– закон Кулона

$$\text{а) } \vec{E} = \sum_i^n \vec{E}_i;$$

– вектор напряженности электрического поля \vec{E}

$$\text{б) } \oint \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i^n q_i;$$

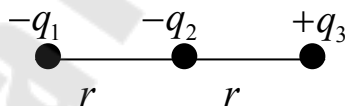
– принцип суперпозиции электрических полей

$$\text{в) } \frac{\vec{F}}{q_0};$$

– теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме

$$\text{г) } \left| \vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \right|.$$

13. Точечные заряды $-q_1$ и $+q_2$ закреплены. Заряд $+q_3$ может перемещаться:



- 1) с ускорением влево;
- 2) с ускорением вправо;
- 3) остается в покое;
- 4) равномерно вправо;
- 5) равномерно влево.

14. Электрон влетает в однородное электрическое поле напряженностью 1,0 кВ/м перпендикулярно линиям напряженности. Если через 10 нс скорость электрона стала равной $2,0 \cdot 10^6$ м/с, то электрон влетел в поле со скоростью:

- 1) $0,50 \cdot 10^6$ м/с;
- 2) $0,70 \cdot 10^6$ м/с;
- 3) $0,90 \cdot 10^6$ м/с;
- 4) $1,2 \cdot 10^6$ м/с;
- 5) $1,5 \cdot 10^6$ м/с.

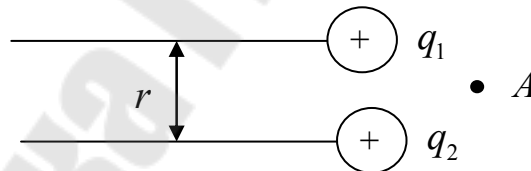
15. В центре квадрата, в вершинах которого находится по заряду q , помещен отрицательный заряд q_1 . Равнодействующая сил, действующих на каждый из зарядов, равна нулю. Величина заряда q_1 равна:

- 1) $q(\sqrt{2} + 0,5)$; 2) $q(\frac{\sqrt{2}}{2} + 0,5)$; 3) $q(\frac{\sqrt{2}}{2} + 0,25)$; 4) $q\frac{\sqrt{2}}{2}$;
 5) $q(\frac{\sqrt{2} + 2}{2})$.

16. Четыре одинаковых точечных заряда находятся в вершинах квадрата со стороной a и удерживаются нитями. Модуль силы натяжения нити равен:

- 1) $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}$; 2) $\frac{q^2 \sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0 a^2}$; 3) $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}(1 + \frac{\sqrt{2}}{2})$; 4) $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}(1 + \frac{\sqrt{2}}{4})$;
 5) $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}(1 + \sqrt{2})$.

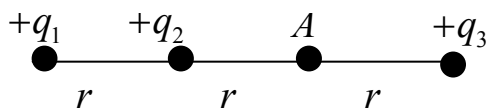
17. Покажите на рисунке, как будет направлена результирующая напряженность в точке A , если электростатическое поле создано двумя положительно заряженными зарядами q_1 и q_2 , находящимися на расстоянии r друг от друга.



18. Электрон, помещенный в однородное электрическое поле, начинает двигаться:

- 1) равноускоренно, по направлению вектора напряженности;
 2) равномерно, по направлению вектора напряженности;
 3) равноускоренно, против направления вектора напряженности;
 4) равномерно, против направления вектора напряженности;
 5) покоится.

19. Укажите направление вектора \vec{E} в точке A :

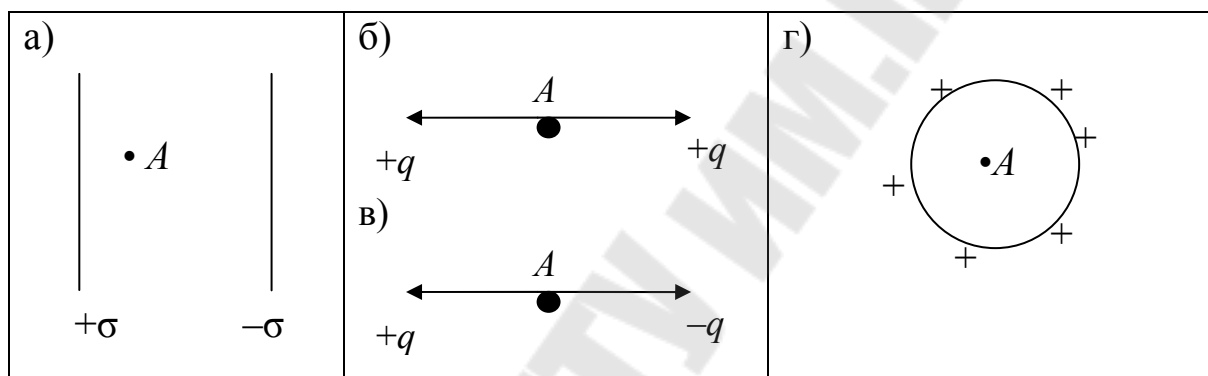


а) \longrightarrow

б) \longleftarrow

в) \nearrow

20. В каких из четырех случаев различного распределения зарядов, приведенных ниже, напряженность электростатического поля в точке A отлична от нуля?



1) а, б; 2) б, в; 3) в; 4) г; 5) в, г.

21. Электрическое поле создано двумя параллельными бесконечными заряженными плоскостями с поверхностными зарядами $\sigma_1 = +2$ нКл/м² и $\sigma_2 = -5$ нКл/м². Определите напряженность электрического поля E между пластинами.

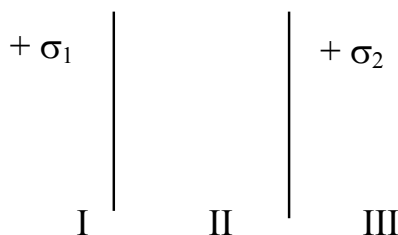
1) 87 В/м; 2) 170 В/м; 3) 396 В/м; 4) 850 В/м; 5) 980 В/м.

22. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными плоскостями заряженными с поверхностной плотностью $\sigma_1 = +1$ нКл/м² и $\sigma_2 = +3$ нКл/м². Определите напряженность электрического поля E между пластинами.

1) 113 В/м; 2) 150 В/м; 3) 186 В/м; 4) 226 В/м; 5) 0 В/м.

23. Две бесконечно параллельные плоскости заряжены одноименными зарядами с поверхностной плотностью $\sigma_1 = 0,3$ мКл/м² и

$\sigma_2 = 0,5 \text{ мКл/м}^2$. Найдите напряженность электрического поля в областях I, II, III.

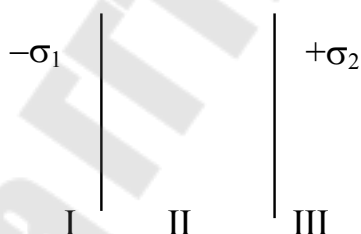


24. Вычислите кинетическую энергию электрона ($e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$), прошедшего разность потенциалов $U = 500 \text{ В}$.

- 1) $3,2 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$; 2) $3,2 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$; 3) $8,0 \cdot 10^{-17} \text{ Дж}$;
4) $6,4 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$; 5) $1,6 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}$.

25. Две бесконечные параллельные плоскости заряжены разноименными зарядами с поверхностной плотностью $\sigma_1 = -0,3 \text{ мКл/м}^2$ и $\sigma_2 = 0,4 \text{ мКл/м}^2$. Найдите напряженность электрического поля в областях I, II, III.

Постройте график зависимости $E = f(x)$.



26. В плоский конденсатор вдвинули плитку парафина ($\epsilon = 2$) толщиной $d = 1 \text{ мм}$, которая вплотную прилегает к его пластинам. На сколько нужно увеличить расстояние между пластинами, чтобы емкость конденсатора не изменилась?

- 1) 0,5 мм; 2) 1 мм; 3) 2 мм; 4) 3 мм; 5) 4 мм.

27. Плоский конденсатор заряжен до разности потенциалов $U = 6 \text{ В}$. Расстояние между пластинами конденсатора $d = 3 \text{ мм}$. Определите напряженность электрического поля E внутри конденсатора.

- 1) 2000 В/м; 2) 2 В/м; 3) 18 В/м; 4) 0,018 В/м; 5) 1800 В/м.

28. Заряд величиной $q = 1$ мкКл перенесли из точки электрического поля с потенциалом $\varphi_1 = 3$ В в точку с потенциалом $\varphi_2 = 5$ В. Определите работу A по переносу заряда.

- 1) $2 \cdot 10^{-6}$ Дж; 2) $-2 \cdot 10^{-6}$ Дж; 3) $4 \cdot 10^{-6}$ Дж; 4) $-4 \cdot 10^{-6}$ Дж;
- 5) $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

29. Напряженность электрического поля внутри проводника E :

- 1) всегда больше напряженности внешнего поля E_0 ;
- 2) всегда меньше напряженности внешнего поля E_0 ;
- 3) может быть как больше, так и меньше напряженности внешнего поля E_0 ;
- 4) всегда равна нулю;
- 5) нет правильного ответа.

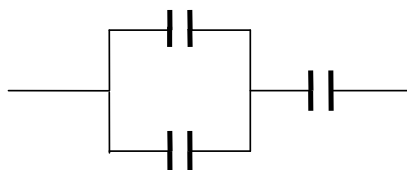
30. Напряженность электрического поля E внутри диэлектрика:

- 1) всегда больше напряженности внешнего поля E_0 ;
- 2) всегда меньше напряженности внешнего поля E_0 ;
- 3) может быть как больше, так и меньше напряженности внешнего поля E_0 ;
- 4) всегда равна нулю;
- 5) нет правильного ответа.

31. Если радиус R металлического шарика увеличить в 2 раза и погрузить его в жидкость с диэлектрической проницаемостью ϵ , равной 2, то его емкость:

- 1) не изменится; 2) увеличится в 2 раза; 3) уменьшится в 2 раза;
- 4) уменьшится в 4 раза; 5) увеличится в 4 раза.

32. Определите общую емкость батареи конденсаторов, если емкость каждого конденсатора равна $C = 1$ мкФ.



- 1) 1,5 мкФ; 2) 0,33 мкФ; 3) 2,5 мкФ; 4) 0,67 мкФ; 5) 2,7 мкФ.

33. Расстояние между пластинами плоского конденсатора равно $d = 4$ см, а напряженность электрического поля $E = 80$ В/м. Найдите разность потенциалов U между пластинами конденсатора.

- 1) 320 В; 2) 3,2 В; 3) 20 В; 4) 200 В; 5) 2 В.

34. Плоский конденсатор емкостью C присоединили к источнику напряжения. Затем расстояние между пластинами d увеличили в 2 раза, не отключая конденсатора от источника. Как изменилась энергия W конденсатора?

- 1) не изменилась; 2) увеличилась в 2 раза; 3) увеличилась в 4 раза; 4) уменьшилась в 2 раза; 5) уменьшилась в 4 раза.

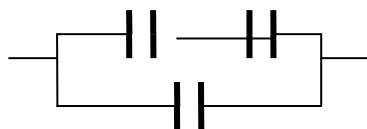
35. Плоский конденсатор емкостью C подключили к источнику напряжения. Затем пространство между пластинами заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 3$, не отключая конденсатора от источника. Как изменилась энергия W конденсатора?

- 1) не изменилась; 2) увеличилась в 3 раза; 3) увеличилась в 9 раз; 4) уменьшилась в 3 раза; 5) уменьшилась в 9 раз.

36. Двум металлическим шарикам с радиусами R и $2R$ сообщили одинаковые заряды. Как отличаются потенциалы φ шариков?

- 1) $\varphi_1 = \varphi_2$; 2) $\varphi_1 = 2\varphi_2$; 3) $\varphi_2 = 2\varphi_1$; 4) $\varphi_1 = 4\varphi_2$; 5) $\varphi_2 = 4\varphi_1$.

37. Определите общую емкость батареи конденсаторов, если емкость каждого конденсатора равна $C = 0,5$ мкФ.



- 1) 0,5 мкФ; 2) 0,75 мкФ; 3) 1,5 мкФ; 4) 0,25 мкФ; 5) 2,0 мкФ.

Постоянный ток

Примеры решения задач

Задача 1

Определите заряд q , прошедший по проводу с сопротивлением $R = 3 \text{ Ом}$ при равномерном нарастании напряжения на концах провода от $U_0 = 2 \text{ В}$ до $U = 4 \text{ В}$ в течение $t = 20 \text{ с}$.

Решение

Так как сила тока в проводнике изменяется, то воспользоваться для подсчета заряда формулой $q = It$ нельзя. Поэтому возьмем дифференциал заряда и проинтегрируем: $q = \int_0^t Idt$. Выразив силу тока по

закону Ома, получим: $q = \int_0^t \frac{U}{R} dt$.

Напряжение U в данном случае переменное. В силу равномерности нарастания оно может быть выражено формулой

$$U = U_0 + kt,$$

где k – коэффициент нарастания напряжения. Тогда

$$q = \int_0^t \left(\frac{U_0}{R} + \frac{kt}{R} \right) dt = \frac{U_0}{R} \int_0^t dt + \frac{k}{R} \int_0^t t dt.$$

Проинтегрировав последнее выражение, получим:

$$q = \frac{U_0 t}{R} + \frac{kt^2}{2R} = \frac{1}{2R} (2U_0 t + kt^2).$$

Значение коэффициента пропорциональности k найдем из формулы $k = (U - U_0)/t = 0,1 \text{ В/с}$. Подставив значение величин, найдем: $q = 20 \text{ Кл}$.

Ответ: $q = 20 \text{ Кл}$.

Задача 2

N одинаковых аккумуляторов соединены последовательно, причем K из них включены навстречу другим. ЭДС каждого элемента равна ε_1 , внутреннее сопротивление r_1 . Какой ток установится в цепи, если батарею замкнуть на сопротивление R ?

Решение

Запишем закон Ома для замкнутой цепи: $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$.

Элементы соединены последовательно, поэтому внутреннее сопротивление батареи $r = Nr_1$. ЭДС батареи равна алгебраической сумме сопротивлений ЭДС элементов:

$$\varepsilon = (N - K)\varepsilon_1 - K\varepsilon_1 = \varepsilon_1(N - 2K).$$

Следовательно, ток в цепи

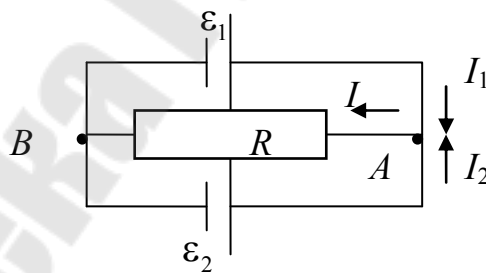
$$I = \frac{\varepsilon_1(N - 2K)}{R + Nr_1}.$$

Ответ: $I = \frac{\varepsilon_1(N - 2K)}{R + Nr_1}$.

Задача 3

В схему включены два элемента с $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2$ В и внутренними сопротивлениями $r_1 = 1$ Ом, $r_2 = 2$ Ом. Чему равно сопротивление R , если $I_1 = 1$ А? Определите значения токов I и I_2 .

Решение



Используем правила Кирхгофа:

– для контура $B\varepsilon_1AB$:

$$I_1 r_1 + IR = \varepsilon_1;$$

– для контура $B\varepsilon_2AB$:

$$I_2 r_2 + IR = \varepsilon_2;$$

– для узла A :

$$I_1 + I_2 = I.$$

Решив полученную систему уравнений, находим:

$$R = \frac{r_2(\varepsilon_1 - I_1 r_1)}{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) + I_1(r_2 + r_1)} = \frac{2}{3} \text{ Ом};$$

$$I = \frac{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) + I_1(r_2 + r_1)}{r_2} = 1,5 \text{ А};$$

$$I_2 = I - I_1 = 0,5 \text{ А}.$$

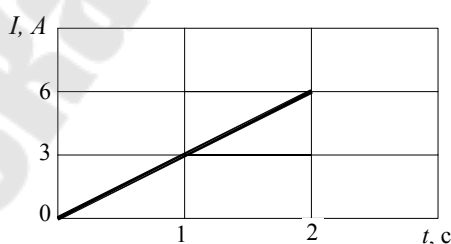
Ответ: 2/3 Ом; 1,5 А; 0,5 А.

Задача 4

Сила тока в проводнике сопротивлением $R = 20 \text{ Ом}$ нарастает в течение времени $\Delta t = 2 \text{ с}$ по линейному закону от $I_0 = 0$ до $I = 6 \text{ А}$. Определите теплоту Q_1 , выделившуюся в этом проводнике за первую секунду.

Решение

Закон Джоуля-Ленца в виде $Q = I^2 R t$ справедлив для постоянного тока ($I = \text{const}$). Если же сила тока в проводнике изменяется, то указанный закон справедлив для бесконечно малого интервала времени, сила тока I является некоторой функцией времени $I = kt$, где k – коэффициент пропорциональности, характеризующий скорость изменения силы тока: $k = \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{6 \text{ А}}{2 \text{ с}} = 3 \frac{\text{А}}{\text{с}}$.



Тогда $dQ = k^2 R t^2 dt$.

Для определения теплоты, выделившейся за конечный интервал времени Δt , выражение для dQ надо проинтегрировать в пределах от 0 до t_1 :

$$Q = k^2 R \int_0^{t_1} t^2 dt = \frac{1}{3} k^2 R t_1^3.$$

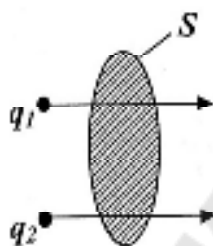
Произведем вычисления:

$$Q_1 = \frac{1}{3} \cdot 3^2 \cdot 20 \cdot 1 \text{ (Дж)} = 60 \text{ Дж}.$$

Ответ: 60 Дж.

Тестовые задания

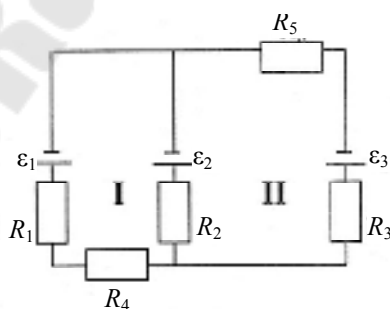
1. Через сечение S за время t переносятся заряды q_1 и q_2 . Приведите в соответствие:



- | | | |
|---|-----------------|------------|
| 1) $q_1 = +1$ Кл; $q_2 = -2$ Кл; $t = 1$ с; | Сила тока $I =$ | Ток течет |
| 2) $q_1 = +4$ Кл; $q_2 = -8$ Кл; $t = 2$ с; | а) 0 А; | г) вправо; |
| 3) $q_1 = +4$ Кл; $q_2 = +2$ Кл; $t = 3$ с; | б) 1 А; | д) влево. |
| | в) 2 А; | |

2. Второе правило Кирхгофа для контура I (см. рис.) имеет вид:

$$I_1(R_1 + R_4) + I_2R_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2.$$



Приведите в соответствие:

- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| направления | выбраны |
| 1) обхода контура...; | а) по часовой стрелке; |
| 2) тока I_1 в R_2 ; | б) против часовой стрелки; |
| 3) тока I_2 в R_2 . | в) вверх; |
| | г) вниз. |

3. По определению электродвижущая сила равна:

- 1) $\varepsilon = A_{\text{ст}}/q$; 2) $\varepsilon = I(R + r)$; 3) $\varepsilon = -d\Phi/dt$; 4) $\varepsilon = -L(dI/dt)$;
5) $\varepsilon = \Phi_1 - \Phi_2$.

4. Закон Ома для участка цепи в дифференциальной форме имеет вид:

- 1) $j = \frac{dI}{dS}$; 2) $I = \frac{dq}{dt}$; 3) $\sigma = \frac{dq}{dS}$; 4) $I = U/R$; 5) $j = \sigma E$.

5. Если источник тока с ЭДС $\varepsilon = 12$ В и внутренним сопротивлением $r = 2$ Ом замкнуть на сопротивление $R = 10$ Ом, то мощность P , выделяемая во внешней цепи, будет равна:

- 1) 10 Вт; 2) 8 Вт; 3) 80 Вт; 4) 12 Вт; 5) 120 Вт.

6. Если ЭДС источника тока $\varepsilon = 8$ В, его внутреннее сопротивление $r = 1/8$ Ом и к источнику подключены параллельно два сопротивления, $R_1 = 1,5$ Ом и $R_2 = 0,5$ Ом, то полный ток в цепи I равен:

- 1) 16 А; 2) 8 А; 3) 4 А; 4) 2 А; 5) 1 А.

7. Если спираль электроплитки укоротить вдвое, то мощность плитки P :

- 1) уменьшится в 4 раза;
2) уменьшится в 2 раза;
3) не изменится;
4) увеличится в 2 раза;
5) увеличится в 4 раза.

8. Какое уравнение называется вторым правилом Кирхгофа?

- 1) $I_R = \frac{\Phi_1 - \Phi_2 + \varepsilon_{12}}{R_{12}}$; 2) $\varepsilon = I(R+r)$; 3) $\Phi_E = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_i^n q_i$;
4) $\sum_i^n q_i = \text{const}$; 5) $\sum_i^n I_i R_i = \sum_i^n E_i$.

9. Плотность тока по определению равна:

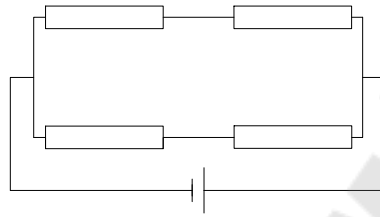
- 1) $j = \frac{dI}{dS}$; 2) $I = \frac{dq}{dt}$; 3) $\sigma = \frac{dq}{dS}$; 4) $\tau = \frac{dq}{dl}$; 5) $j = kH$.

10. Закон Ома для неоднородного участка цепи имеет вид:

1) $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}$; 2) $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R_{12}}$; 3) $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$; 4) $\vec{J} = \sigma \vec{E}$;

5) $R = \rho \frac{l_{12}}{S}$.

11. Найдите силу полного тока в цепи, изображенной на рисунке. Сопротивления резисторов равны: $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 4$ Ом, $R_3 = 2$ Ом, $R_4 = 6$ Ом, ЭДС источника $\varepsilon = 13$ В, внутреннее сопротивление $r = 0,5$ Ом.



1) 0,5 А; 2) 1 А; 3) 1,5 А; 4) 2 А; 5) 2,5 А.

12. Два одинаковых сопротивления по $R = 5$ Ом каждое включены последовательно в сеть с напряжением $U = 12$ В. Найдите мощность, выделяющуюся на одном сопротивлении.

1) 6,2 Вт; 2) 10 Вт; 3) 7,2 Вт; 4) 14,4 Вт; 5) 30 Вт.

13. Какое уравнение называется первым правилом Кирхгофа?

1) $\sum_i^n I_i = 0$; 2) $\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$; 3) $\Phi_E = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_i^n q_i$; 4) $\sum_i^n q_i = \text{const}$;

5) $\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_i^n I_i$.

14. Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме имеет вид:

1) $Q = I^2 R t$; 2) $\vec{J} = \sigma \vec{E}$; 3) $w = \sigma E^2$; 4) $j = \frac{dI}{dS}$; 5) $\sigma = \frac{dq}{dS}$.

15. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от $I_0 = 2$ А до $I = 8$ А в течение $t = 15$ с. Определить заряд q , прошедший в проводнике.

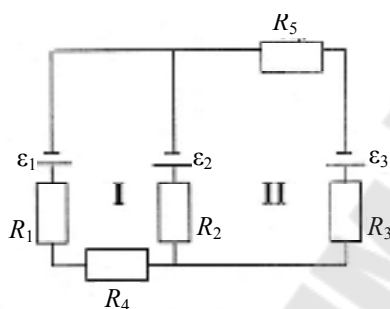
1) 95 Кл; 2) 75 Кл; 3) 60 Кл; 4) 45 Кл; 5) 30 Кл.

16. Найдите ток короткого замыкания, если при внешнем сопротивлении $R_1 = 8$ Ом сила тока в цепи $I_1 = 0,8$ А, а при сопротивлении $R_2 = 15$ Ом сила тока $I_2 = 0,5$ А.

- 1) 1,3 А; 2) 4,3 А; 3) 2,6 А; 4) 9,3 А; 5) 15,6 А.

17. Второе правило Кирхгофа для контура II (см. рис.) имеет вид:

$$I_2 R_2 - I_3 (R_3 + R_5) = \varepsilon_2 - \varepsilon_3.$$



направления

- 1) обхода контура...;
- 2) тока I_2 в R_2 ;
- 3) тока I_3 в R_3 .

выбраны

- а) по часовой стрелке;
- б) против часовой стрелки;
- в) вверх;
- г) вниз.

18. При внешнем сопротивлении R_1 по цепи идет ток I_1 . При внешнем сопротивлении R_2 по цепи идет ток I_2 . Найдите ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

- 1) $r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2}$, $\varepsilon = I_1 (R_1 + r)$;
- 2) $r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_1 - I_2}$, $\varepsilon = I_2 (R_2 + r)$;
- 3) $r = \frac{I_2 R_2 + I_1 R_1}{I_1 - I_2}$, $\varepsilon = I_1 (R_2 + r)$;
- 4) $r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 + I_2}$, $\varepsilon = I_2 (R_1 + r)$;
- 5) нет правильных ответов.

19. При силе тока $I_1 = 3$ А во внешней цепи батареи аккумуляторов выделяется мощность $P_1 = 18$ Вт, при силе тока $I_2 = 1$ А – соот-

ответственно, $P_2 = 10$ Вт. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление r батареи.

- 1) 3 Ом, 10 В; 2) 2 Ом, 12 В; 3) 4 Ом, 12 В; 4) 1 Ом, 2 В; 5) 4 Ом, 18 В.

20. Для данной схемы приведите в соответствие:

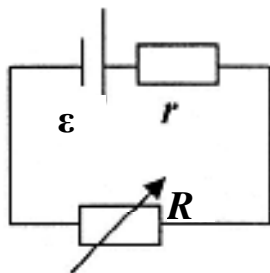
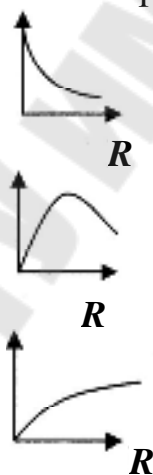
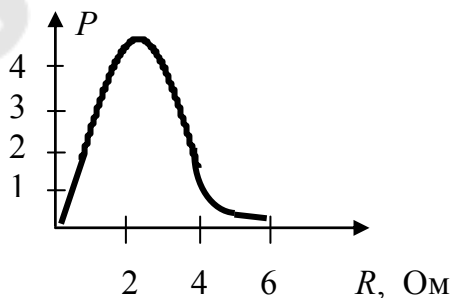


график функции

- 1) мощность, выделяемая в нагрузке;
- 2) сила тока в цепи;
- 3) коэффициент полезного действия.



21. На графике дана зависимость полезной мощности P и R . По данным этой кривой найдите внутреннее сопротивление r и ЭДС элемента.



- 1) 3 Ом, 5 В; 2) 2,5 Ом, 7,1 В; 3) 6 Ом, 120 В; 4) 2,5 Ом, 50 В;
- 5) определить невозможно.

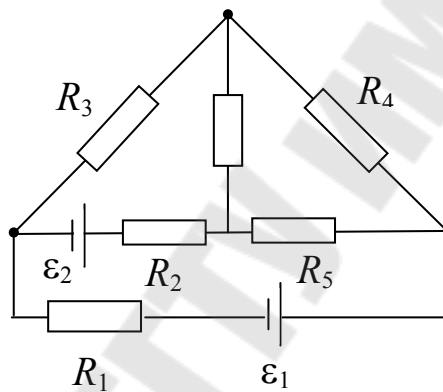
22. ЭДС батареи $\varepsilon = 12$ В. При силе тока $I = 4$ А КПД батареи $\eta = 0,6$. Определите внутреннее сопротивление r батареи.

- 1) 1,8 Ом; 2) 1,2 Ом; 3) 3 Ом; 4) 1,5 Ом; 5) 2 Ом.

23. Сила тока в проводнике сопротивлением $R = 40$ Ом равномерно нарастает от $I_0 = 3$ А до $I_{\max} = 10$ А в течение времени $t = 7$ с. Определить количество теплоты Q , выделившееся за это время в проводнике.

- 1) 15 кДж; 2) 13 кДж; 3) 11 кДж; 4) 12 кДж; 5) 10 кДж.

24. Запишите первый закон Кирхгофа для узлов 1 и 2.



25. Концентрация электронов проводимости в проводе сечением $5,0$ мм² при силе тока $5,0$ А равна $5,0 \cdot 10^{28}$ (1/м³). Скорость упорядоченного движения электронов составляет:

- 1) 0,13 м/с; 2) 0,25 м/с; 3) 0,25 м/с; 4) 2,5 м/с; 5) 5,0 м/с.

Магнитное поле

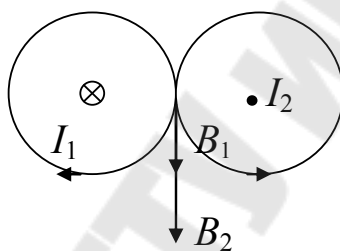
Примеры решения задач

Задача 1

Два прямолинейных проводника с противоположно направленными токами по 20 А находятся на расстоянии 10 см друг от друга. Индукция магнитного поля в точке, лежащей посередине между проводниками, равна:

- 1) $5,0 \cdot 10^{-4}$ Тл; 2) $1,6 \cdot 10^{-4}$ Тл; 3) $1,0 \cdot 10^{-4}$ Тл;
4) $8,0 \cdot 10^{-4}$ Тл; 5) $4,0 \cdot 10^{-4}$ Тл.

Решение



По принципу суперпозиции магнитная индукция поля равна $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$, где \vec{B}_1 и \vec{B}_2 – векторы индукции магнитных полей, создаваемых токами I_1 и I_2 . \vec{B}_1 и \vec{B}_2 направлены по одной прямой. Поэтому

$$B = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} + \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{\mu_0 I}{\pi r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 20}{\pi \cdot 0,05} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Тл.}$$

Ответ: $1,6 \cdot 10^{-4}$ Тл.

Задача 2

Электрон, влетев в однородное магнитное поле $B = 0,2$ Тл, стал двигаться по окружности радиуса 5 см. Определите величину магнитного момента p_m эквивалентного кругового тока.

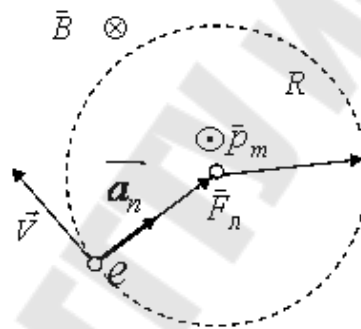
Решение

Траектория движения электрона будет окружностью, если он влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям маг-

нитной индукции, линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости рисунка и направлены «от нас» (обозначены крестиками).

Движение электрона по окружности эквивалентно круговому току, который в данном случае определяется выражением $I_{\text{экв}} = \frac{|e|}{T}$, где e – заряд электрона; T – период его обращения.

Период обращения выразим через скорость электрона и путь, проходимый им за период $T = \frac{2\pi R}{V}$. Тогда $I_{\text{экв}} = \frac{|e|V}{2\pi R}$. Зная $I_{\text{экв}}$, найдем величину магнитного момента эквивалентного кругового тока, который определяется соотношением $p_m = I_{\text{экв}} S$, где S – площадь, ограниченная окружностью, описываемой электроном ($S = \pi R^2$). Тогда $p_m = \frac{|e|V}{2\pi R} \pi R^2 = \frac{1}{2} |e|VR$.



В полученном выражении неизвестной является скорость электрона, которая связана с радиусом окружности, по которой он движется, соотношением $R = \frac{mV}{qB}$.

Заменив q на $|e|$, найдем скорость $V = \frac{|e|BR}{m}$ и подставим в формулу магнитного момента: $p_m = \frac{|e^2|BR^2}{2m}$. Проведем вычисления: $p_m = 7,03 \text{ пА} \cdot \text{м}^2$.

Ответ: $p_m = 7,03 \text{ пА} \cdot \text{м}^2$.

Задача 3

Соленоид с сердечником из немагнитного материала содержит $N = 1200$ витков провода, плотно прилегающих друг к другу. При си-

ле тока $I = 4 \text{ А}$ магнитный поток $\Phi = 6 \text{ мкВб}$. Определить индуктивность соленоида и энергию магнитного поля соленоида.

Решение

Индуктивность L связана с потокосцеплением ψ и силой тока I соотношением $\psi = LI$. Потокосцепление может быть определено через поток Φ и число витков N : $\psi = N\Phi$.

Тогда индуктивность соленоида $L = \frac{N\Phi}{I}$. Энергия магнитного поля соленоида $W = \frac{1}{2}LI^2$, или $W = \frac{1}{2}NI\Phi$.

Проведем вычисления: $L = 1,8 \text{ мГн}$, $W = 14,4 \text{ мДж}$.

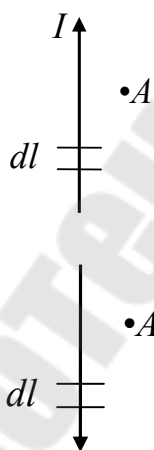
Ответ: $L = 1,8 \text{ мГн}$, $W = 14,4 \text{ мДж}$.

Тестовые задания

1. Закон Био-Савара-Лапласа имеет вид:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}.$$

Проводник с током I и точка A лежат в плоскости листа. Приведите в соответствие:



Вектор $d\vec{B}$ в точке A :
направлен $d\vec{B}$ – «к нам»



$d\vec{B}$ – «от нас»

2. Бесконечный прямой провод с током силой $I = 30 \text{ А}$ образует круговую петлю радиусом $R = 20 \text{ см}$, касательную к проводу. Найдите индукцию магнитного поля B в центре кривизны.

1) 0,240 мТл; 2) 0,34 мТл; 3) 0,124 мТл; 4) 0 Тл; 5) 0,845 мТл.

3. С какой силой F действует однородное магнитное поле с индукцией $B = 10$ мТл на проводник длиной $l = 10$ см с током $I = 50$ А, если проводник перпендикулярен линиям магнитной индукции?

- 1) 0,005 Н; 2) 0,05 Н; 3) 0,5 Н; 4) 5 Н; 5) 50 Н.

4. Найдите скорость изменения магнитного потока в катушке из $N = 2000$ витков при возбуждении в ней ЭДС индукции $\varepsilon = 120$ В.

- 1) 3 мВб/с; 2) 12 мВб/с; 3) 30 мВб/с; 4) 40 мВб/с; 5) 60 мВб/с.

5. Пройдя ускоряющую разность потенциалов 25 кВ, электрон влетает в магнитное поле под углом 30° к линиям магнитной индукции $B = 10$ мТл. Радиус окружности, по которой движется электрон, составляет:

- 1) 1,2 см; 2) 1,8 см; 3) 2,3 см; 4) 2,7 см; 5) 2,9 см.

6. Линии магнитной индукции однородного поля перпендикулярны плоскому прямоугольному контуру. Если плоскость контура повернуть относительно направления линий индукции на 60° , то величина магнитного потока, пронизывающего контур:

- 1) увеличится в 2 раза; 2) увеличится в $\frac{\sqrt{3}}{2}$ раза; 3) уменьшится в 2 раза; 4) уменьшится в $\frac{\sqrt{3}}{2}$ раза; 5) уменьшится в 4 раза.

7. По двум длинным параллельным проводникам текут одинаковые токи. Проводники и точка A , расположенная на одинаковых расстояниях от проводников, лежат в плоскости листа. \vec{B} – индукция магнитного поля в точке A . Приведите в соответствие:



а) $B_A = 0$;

б) $B_A \neq 0$.

8. По обмотке очень короткой катушки радиусом $R = 16$ см течет ток силой $I = 5$ А. Сколько витков проволоки намотано на катушку, если напряженность магнитного поля в ее центре равна $H = 800$ А/м?

- 1) 95; 2) 75; 3) 64; 4) 51; 5) 38.

9. Ион, несущий один элементарный заряд, движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,015$ Тл по окружности радиусом $R = 10$ см. Определить импульс p иона.

- 1) $2 \cdot 10^{-24}$ кг/м · с; 2) $4 \cdot 10^{-24}$ кг/м · с; 3) $9 \cdot 10^{-24}$ кг/м · с;
4) $18 \cdot 10^{-24}$ кг/м · с; 5) $24 \cdot 10^{-24}$ кг/м · с.

10. Закон Био-Савара-Лапласа выражается формулой:

- 1) $B = \frac{\mu_0 I_c N}{\sqrt{L^2 + D^2}}$; 2) $B = \frac{R_2 C U_y}{N_2 S_2}$; 3) $|d\vec{B}| = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{Idl \cdot \sin \alpha}{r^2}$;
4) $\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$; 5) $B_r = \frac{\mu \mu_0 I N}{2R}$.

11. При скорости изменения силы тока в соленоиде, равной 5 А/с, на его концах возникает ЭДС самоиндукции $\varepsilon = 0,08$ В. Определить индуктивность L соленоида.

- 1) 16 мГн; 2) 0,4 Гн; 3) 8 мГн; 4) 0,2 Гн; 5) 32 мГн.

12. Заряд q движется со скоростью V в однородном магнитном поле. Скорость V лежит в плоскости листа, вектор магнитной индукции B – перпендикулярен листу. Приведите в соответствие:



1) $q > 0$. Сила Лоренца направлена: вверх, вниз;

2) $q < 0$. Сила Лоренца направлена: вверх, вниз.



13. Две частицы с одинаковыми зарядами, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, попадают в однородное магнитное поле

и движутся по круговым орбитам. Если отношение масс этих частиц $\frac{m_1}{m_2} = 4$, то отношение $\frac{R_1}{R_2}$ радиусов их траекторий равно:

- 1) 0,3; 2) 0,5; 3) 2; 4) 4; 5) 8.

14. Пройдя ускоряющую разность потенциалов 25 кВ, электрон влетает в магнитное поле под углом 30° к линиям магнитной индукции, $B = 10$ мТл. Радиус окружности, по которой движется электрон, составляет:

- 1) 1,2 см; 2) 1,8 см; 3) 2,3 см; 4) 2,7 см; 5) 2,9 см.

15. Линии магнитной индукции однородного поля перпендикулярны плоскому прямоугольному контуру. Если плоскость контура повернуть относительно направления линий индукции на 60° , то величина магнитного потока, пронизывающего контур:

- 1) увеличится в 2 раза; 2) увеличится в $\frac{\sqrt{3}}{2}$ раза; 3) уменьшится в 2 раза; 4) уменьшится в $\frac{\sqrt{3}}{2}$ раза; 5) уменьшится в 4 раза.

16. На рисунке указаны направления круговых токов. Укажите направление вектора \vec{p}_m – магнитного момента рамки с током в соответствии с направлением токов:



\vec{p}_m направлен а) вверх;
 \vec{p}_m направлен б) вниз.



17. На каждый метр длины соленоида намотано 400 витков проволоки, сила тока в них 8,0 А. Магнитная индукция внутри соленоида равна:

- 1) $2,0 \cdot 10^{-3}$ Тл; 2) $4,0 \cdot 10^{-3}$ Тл; 3) $8,0 \cdot 10^{-3}$ Тл; 4) $1,3 \cdot 10^{-3}$ Тл;
5) $1,3 \cdot 10^{-2}$ Тл.

Содержание

Предисловие.....	3
Электростатика.....	4
Постоянный ток.....	16
Магнитное поле.....	25

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Хило Петр Анатольевич
Петрова Елена Сергеевна**

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

ПРАКТИКУМ

по курсу «Физика»

**для студентов технических специальностей
дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *А. В. Власов*
Компьютерная верстка *Е. Б. Яцук*

Подписано в печать 19.03.14.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 1,86 . Уч.-изд. л. 1,92.

Изд. № 43.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:

Издательский центр

Учреждения образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48