



Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО  
«Уральский государственный горный  
университет»

# **ФИЗИКА**

## **Часть 2**

**Электричество, магнетизм, колебания и волны**

*Сборник тестов*

**для подготовки к интернет-тестированию  
студентов всех направлений специалитета  
и бакалавриата**

Екатеринбург

2013

Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО  
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО  
Методической комиссией ФГиГ  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.  
Председатель комиссии  
\_\_\_\_\_ проф. В. И. Бондарев

# ФИЗИКА

Часть 2

Электричество, магнетизм, колебания и волны

*Сборник тестов*  
**для подготовки к интернет-тестированию  
студентов всех направлений специалитета  
и бакалавриата**

Издание УГГУ

Екатеринбург, 2013

Рецензент: Виноградов В. Б., доц. каф. геофизики УГГУ,  
канд. геол. - минерал. наук.

Сборник тестов рассмотрен на заседании кафедры физики 23  
апреля 2013 г. (протокол № 65) и рекомендован для издания в УГ-  
ГУ.

ФИЗИКА. Часть 2. Электричество, магнетизм, колебания и  
Ф 48 волны: сборник тестов для подготовки к интернет-  
тестированию студентов всех направлений специалитета и  
бакалавриата / Л. П. Житова, С. А. Смольников, С. Н. Шито-  
ва, М. В. Калачева; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург:  
Изд-во УГГУ, 2013. — 83 с.

Сборник тестов содержит краткие теоретические све-  
дения по разделам физики: «Электростатика», «Постоянный  
ток», «Магнетизм», «Электромагнитные и механические ко-  
лебания и волны». Тематическая структура определяется ди-  
дактическими единицами государственных образовательных  
стандартов.

Сборник тестов предназначен для студентов всех спе-  
циальностей УГГУ для самостоятельной работы при подго-  
товке к экзаменам по физике и интернет-тестированию. Ре-  
комендуется для проверки знаний студентов на зачетах и эк-  
заменах по физике в УГГУ.

© Житова Л. П., Смольников С. А.,  
Шитова С. Н., Калачева М. В., 2013  
© Уральский государственный гор-  
ный университет, 2013

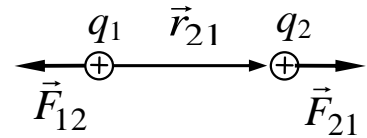
### III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

#### 11. Электростатическое поле в вакууме

- **Закон Кулона** (определяет силу взаимодействия точечных зарядов в вакууме);

а) в векторном виде:

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{21}}{r},$$



где  $\vec{F}_{21}$  – сила, действующая на заряд  $q_2$  со стороны заряда  $q_1$ ;

$\vec{r}_{21}$  – радиус-вектор, проведённый от первого заряда ко второму;

$r$  – расстояние между зарядами;  $r = |\vec{r}_{21}|$ ;

$k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$  – коэффициент пропорциональности в

системе СИ;

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$  – электрическая постоянная;

б) в скалярном виде:

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

в) в непроводящей среде:

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

где  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды (для воздуха  $\epsilon = 1$ ).

Сила Кулона является центральной, т. е. направлена вдоль линии, соединяющей заряды.

Одноименные заряды отталкиваются, а разноименные – притягиваются.

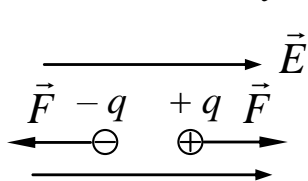
Взаимодействие точечных зарядов удовлетворяет III закону Ньютона:

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}.$$

- **Напряжённость электростатического поля** – векторная величина, являющаяся силовой характеристикой поля, численно равная силе, действующей на единичный положительный точечный заряд, помещенный в данную точку поля:

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

- **Сила, действующая на заряд в электростатическом поле:**



$$\vec{F} = \vec{E}q.$$

Знак «-» заряда меняет направление силы на противоположное.

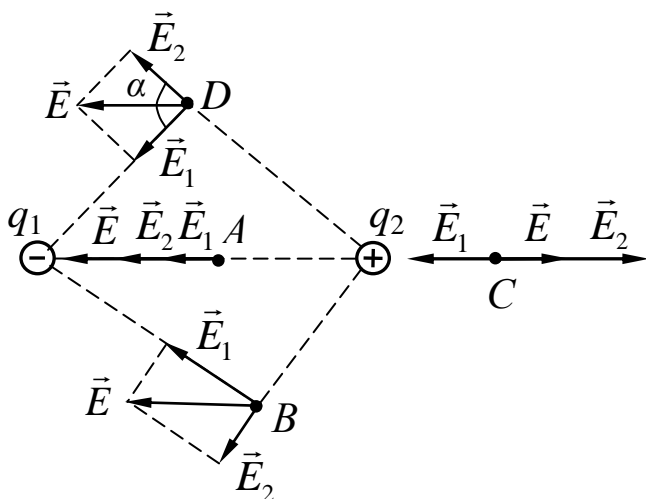
- **Принцип суперпозиции для напряжённости электростатического поля:**

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i.$$

Пример: рассчитаем напряженность в различных точках электростатического поля, созданного точечными зарядами  $q_1$  и  $q_2$ .

а) *Направление* результирующего вектора в любой точке определяем по *принципу суперпозиции:*

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2;$$



б) *Модуль* результирующего поля *зависит от направления векторов*, создающих поле. Возможны четыре варианта:

1) векторы  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$  направлены в одну сторону:

$$E_A = E_1 + E_2;$$

2) векторы  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$  направлены в разные стороны:

$$E_C = E_2 - E_1;$$

3) векторы  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$  направлены под углом  $\alpha$  относительно друг друга:

$$E_D = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha};$$

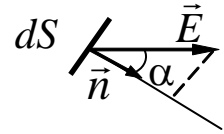
4) векторы  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$  перпендикулярны друг другу:

$$E_B = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}.$$

- **Поток вектора напряжённости электростатического поля** через произвольную площадку  $d\Phi_E$ :

$$d\Phi_E = (\vec{E} \cdot d\vec{S}) = E \cdot dS \cos \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол между вектором напряженности  $\vec{E}$  и нормалью  $\vec{n}$  к площадке.



- **Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме:**

$$\Phi_E = \oint_S (\vec{E} \cdot d\vec{S}) = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i.$$

- **Потенциал электростатического поля**  $\varphi$  – скалярная величина, являющаяся энергетической характеристикой поля и определяемая потенциальной энергией единичного положительного точечного заряда, помещенного в данную точку поля:

$$\varphi = \frac{W_{\Pi}}{q}.$$

- **Принцип суперпозиции для потенциала:**

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \pm \varphi_i.$$

- **Фундаментальная связь между напряженностью и потенциалом:** напряжённость поля равна градиенту потенциала, взятому со знаком минус:

$$\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}} \varphi = -\vec{\nabla} \varphi,$$

где  $\vec{\nabla}$  – («набла») оператор Гамильтона  $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$ .

Знак «минус» показывает, что вектор  $\vec{E}$  направлен в сторону убывания потенциала (градиент потенциала и напряженность равны по модулю и противоположны по направлению).

- **Связь между напряженностью и разностью потенциалов**

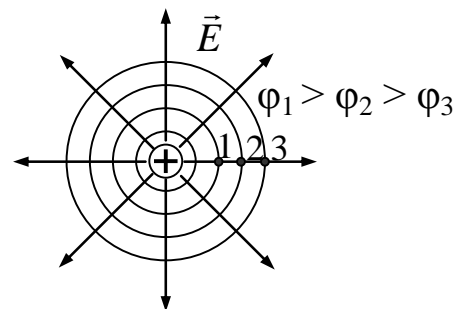
а) для одного направления:  $E = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x},$

где  $\Delta x$  – расстояние между точками поля;

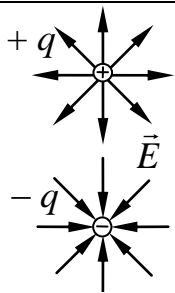
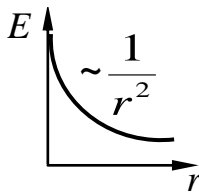
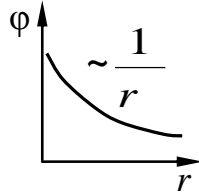
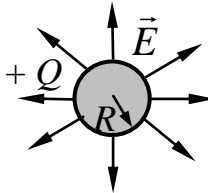
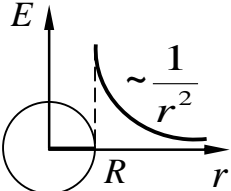
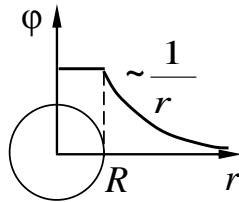
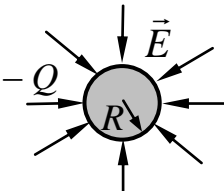
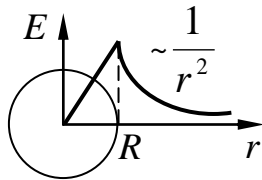
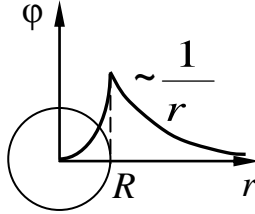
б) для поля конденсатора:  $E = \frac{\Delta\varphi}{d},$

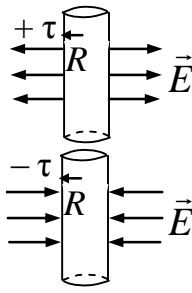
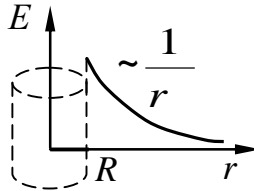
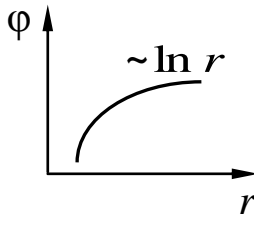
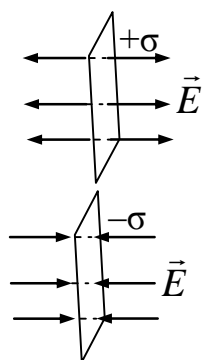
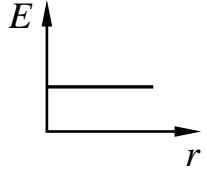
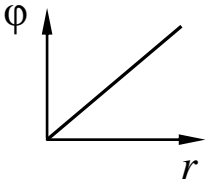
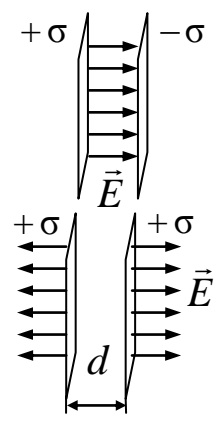
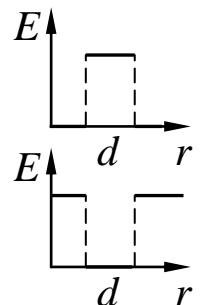
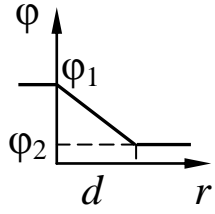
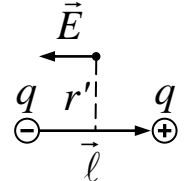
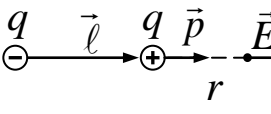
где  $d$  – расстояние между пластинами.

- **Эквипотенциальные поверхности** – поверхности, во всех точках которых потенциал  $\varphi$  имеет одно и то же значение.



## Напряженность и потенциал некоторых заряженных тел в вакууме

1	2	3	4
Точечный заряд		$E = k \frac{q}{r^2}$ 	$\varphi = k \frac{q}{r}$ 
Сфера (поверхностное распределение заряда)		<p>а) если <math>r \geq R</math> (на поверхности и снаружи), то</p> $E = k \frac{Q}{r^2} = \frac{\sigma R^2}{\epsilon_0 r^2};$ <p>б) если <math>r &lt; R</math> (внутри), то <math>E = 0</math>,</p> <p>где <math>r</math> – расстояние от центра сферы до заданной точки.</p> 	<p>а) если <math>r &gt; R</math>, то</p> $\varphi = k \frac{Q}{r} = \frac{\sigma R^2}{\epsilon_0 r};$ <p>б) если <math>r \leq R</math>, то</p> $\varphi = k \frac{Q}{R} = \frac{\sigma R}{\epsilon_0}.$ 
Шар (объемное распределение заряда)		<p>а) если <math>r \geq R</math>, то</p> $E = k \frac{Q}{r^2} = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r^2};$ <p>б) если <math>r &lt; R</math>, то</p> $E = k \frac{Q}{R^3} r = \frac{\rho r}{3\epsilon_0}.$ 	<p>а) если <math>r &gt; R</math>, то</p> $\varphi = k \frac{Q}{r} = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r};$ <p>б) если <math>r \leq R</math>, то</p> $\varphi = k \frac{Q r^2}{2R^3} = \frac{\rho r^2}{6\epsilon_0}.$ 

1	2	3	4
<p>Бесконечная нить (цилиндр)</p>		<p>а) если <math>r \geq R</math>; то</p> $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r};$ <p>б) если <math>r &lt; R</math>; то <math>E = 0</math>.</p> 	$\varphi = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln r$ 
<p>Бесконечная плоскость</p>		$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ 	$\varphi = \frac{\sigma r}{2\epsilon_0}$ 
<p>Две параллельные бесконечные плоскости</p>		$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$ 	$\Delta\varphi = \frac{\sigma d}{\epsilon_0}$ 
<p>Диполь</p>		<p>На перпендикуляре, восстановленном к оси диполя из его середины:</p> $E = k \frac{q\ell}{(r')^3} = k \frac{p}{(r')^3}$	
		<p>На продолжении оси диполя:</p> $E = k \frac{2q\ell}{r^3} = k \frac{2p}{r^3}$	



- **Линейная плотность заряда**  $\tau$  – заряд, приходящийся на единицу длины:

$$\tau = \frac{dQ}{d\ell}.$$

- **Поверхностная плотность заряда**  $\sigma$  – заряд, приходящийся на единицу площади:

$$\sigma = \frac{dQ}{dS}.$$

- **Объёмная плотность заряда**  $\rho$  – заряд, приходящийся на единицу объёма:

$$\rho = \frac{dQ}{dV}.$$

- **Работа по перемещению заряда:**

$$A = \Delta W = q\Delta\varphi = \frac{m}{2}(v^2 - v_0^2),$$

где  $\Delta\varphi$  – разность потенциалов между точками поля.

Если *положительно заряженная частица* движется *по направлению поля*, то ее скорость увеличивается, а если *против поля*, то скорость уменьшается. *Отрицательная частица*, движущаяся *по полю*, замедляется, а движущаяся *против поля* – ускоряется. Это объясняется направлением действия силы на разноименные заряды.

- **Ёмкость конденсатора** (по определению):

$$C = \frac{Q}{\Delta\varphi},$$

где  $Q$  – заряд;  $\Delta\varphi$  – разность потенциалов между обкладками.

- **Ёмкость плоского конденсатора:**

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость материала диэлектрика;

$S$  – площадь пластин;  $d$  – расстояние между пластинами.

- **Ёмкость шара** (сферы):

$$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R,$$

где  $R$  – радиус шара (сферы);  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость окружающей среды.

- **Соединения конденсаторов:**

а) параллельное:

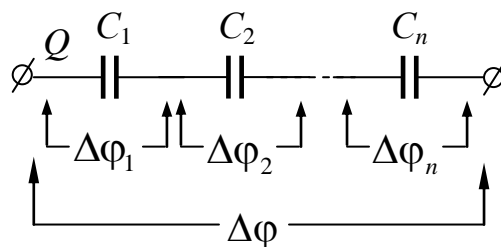
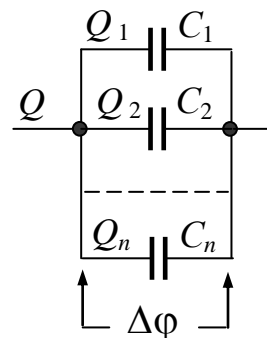
$$\Delta\varphi = \text{const}; \quad Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n;$$

$$C_{\text{пар}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n;$$

б) последовательное:

$$Q = \text{const}; \quad \Delta\varphi = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 + \dots + \Delta\varphi_n;$$

$$\frac{1}{C_{\text{посл}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$



- **Энергия заряженного конденсатора:**

$$W = \frac{C\Delta\varphi^2}{2} = \frac{Q\Delta\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C}.$$

- **Энергия электростатического поля:**

$$W = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} V = \frac{D^2}{2\varepsilon_0 \varepsilon} V = \frac{ED}{2} V,$$

где  $E$  – напряжённость электростатического поля;  $V$  – объём;

$D = \varepsilon_0 \varepsilon E$  – индукция электростатического поля (смещение).

- **Объёмная плотность энергии** – энергия, заключённая в единице объёма:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{ED}{2}.$$

- **Потенциальная энергия взаимодействия точечных зарядов:**

$$W_{\text{п}} = k \frac{Qq}{r}.$$

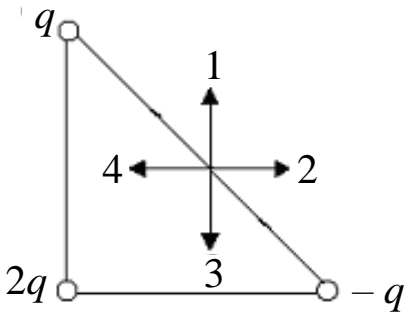
## Тестовые задания

11.1. Сила взаимодействия двух отрицательных точечных зарядов, находящихся на расстоянии  $R$  друг от друга, равна  $F$ . Расстояние между частицами уменьшили в 2 раза. Чтобы сила взаимодействия  $F$  не изменилась, нужно...

- 1) один из зарядов увеличить по модулю в 2 раза;
- 2) каждый заряд уменьшить по модулю в 2 раза;
- 3) каждый заряд уменьшить по модулю в  $\sqrt{2}$  раз;
- 4) каждый заряд увеличить по модулю в 2 раза;
- 5) один из зарядов уменьшить по модулю в 2 раза.

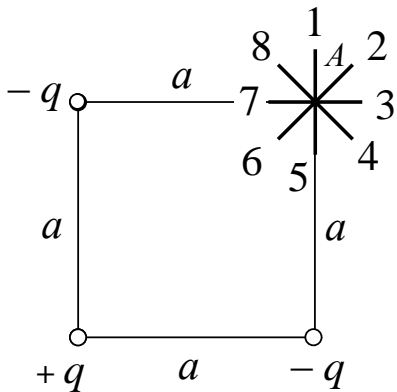
11.2. Сила взаимодействия двух отрицательных точечных зарядов, находящихся на расстоянии  $r$  друг от друга, равна  $F$ . Заряд одной частицы уменьшили по модулю в 2 раза. Чтобы сила взаимодействия  $F$  не изменилась, расстояние между зарядами нужно...

- 1) увеличить в  $\sqrt{2}$ ;
- 2) увеличить в 2 раза;
- 3) увеличить в 4 раза;
- 4) уменьшить в  $\sqrt{2}$ ;
- 5) уменьшить в 2 раза.



11.3. На рисунке показаны три точечных заряда:  $q$ ,  $-q$  и  $2q$ , расположенных в вершинах равнобедренного прямоугольного треугольника. Укажите номер, под которым показан результирующий вектор напряженности электрического поля в точке, находящейся на середине гипотенузы.

- |       |       |
|-------|-------|
| 1) 1; | 2) 4; |
| 3) 2; | 4) 3. |



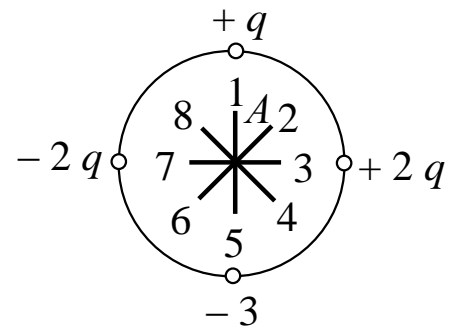
11.4. Электростатическое поле создано системой точечных зарядов:  $-q$ ,  $+q$  и  $-q$  (см. рисунок). Вектор напряженности поля в точке  $A$  ориентирован в направлении...

- |       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 1) 8; | 2) 6; | 3) 2; |
| 4) 4; | 5) 5; | 6) 7; |
| 7) 1; | 8) 3. |       |

11.5. Для условия теста 11.4 градиент потенциала в точке  $A$  ориентирован в направлении...

- 1) 8;                      2) 6;                      3) 2;                      4) 4;  
 5) 5;                      6) 7;                      7) 1;                      8) 3.

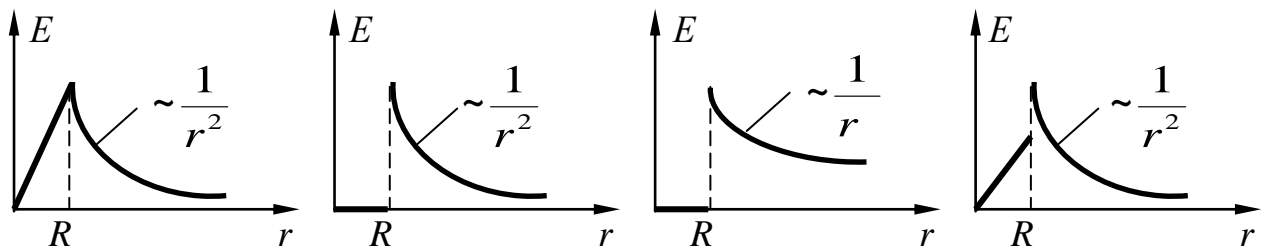
11.6. Электростатическое поле создано системой точечных зарядов (см. рисунок). Вектор напряженности поля в точке  $A$  ориентирован в направлении...



- 1) 8;                      2) 6;                      3) 2;  
 4) 4;                      5) 5;                      6) 7;  
 7) 1;                      8) 3.

11.7. На рисунках представлены графики зависимости напряженности поля  $E(r)$  для различных распределений заряда.

График зависимости  $E(r)$  для шара радиуса  $R$ , равномерно заряженного по объему, показан на рисунке ...

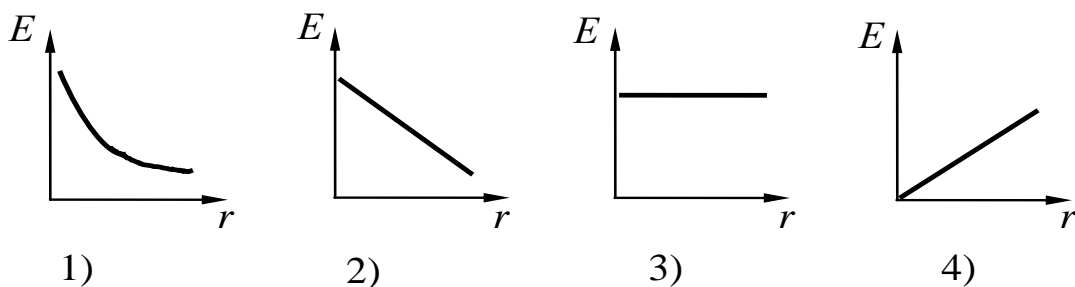


- 1)                      2)                      3)                      4)  
 1) 1;                      2) 2;                      3) 3;                      4) 4.

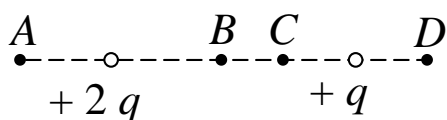
11.8. На рисунках теста 11.7 представлены графики зависимости напряженности поля  $E(r)$  для различных распределений заряда. Показать график зависимости  $E(r)$  для заряженной металлической сферы радиуса  $R$ ...

- 1) 1;                      2) 2;                      3) 3;                      4) 4.

11.9. График зависимости  $E(r)$  для бесконечной равномерно заряженной плоскости верно представлена на рисунке...



- 1)                      2)                      3)                      4)



11.10. Напряженность электростатического поля, создаваемого точечными зарядами  $2q$  и  $q$ , может быть равной нулю в области точки...

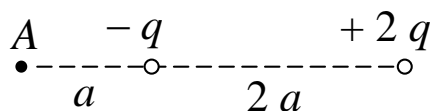
- 1)  $B$ ;                      2)  $C$ ;                      3)  $A$ ;                      4)  $D$ .

11.11. Установите соответствие между формой заряженных тел и формулой напряженности электростатического поля, созданного этими телами:

1	Бесконечная заряженная плоскость
2	Бесконечная заряженная нить (цилиндр)
3	Продолжение оси диполя
4	Точечный заряд

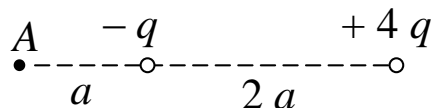
А	$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$
Б	$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$
В	$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}$
Г	$E = \frac{2q\ell}{4\pi\epsilon_0 r^3}$

- 1) 1 – Б; 2 – А; 3 – Г; 4 – В;                      2) 1 – Б; 2 – В; 3 – Г; 4 – А;  
 3) 1 – В; 2 – Г; 3 – А; 4 – Б;                      4) 1 – А; 2 – Б; 3 – В; 4 – Г.



11.12. Электростатическое поле создано двумя точечными зарядами:  $-q$  и  $+2q$ . Отношение потенциала поля, созданного первым зарядом в точке  $A$ , к потенциалу результирующего поля в этой точке равно...

- 1)  $1/3$ ;                      2)  $5/3$ ;                      3)  $0,6$ ;                      4)  $3$ .

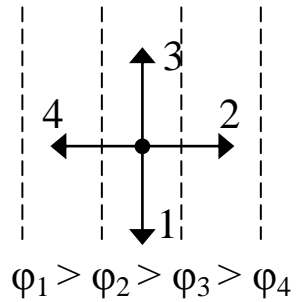


11.13. Электростатическое поле создано двумя точечными зарядами:  $-q$  и  $+4q$ . Отношение потенциала поля, созданного вторым зарядом в точке  $A$ , к потенциалу результирующего поля в этой точке равно...

- 1)  $3$ ;                      2)  $4$ ;                      3)  $4/3$ ;                      4)  $3/4$ .

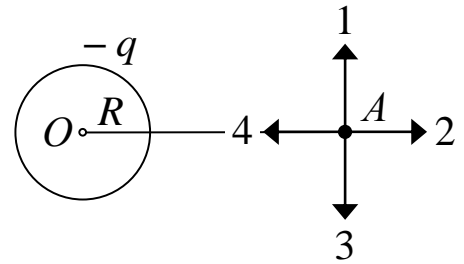
11.14. На рисунке показаны эквипотенциальные поверхности электростатического поля. Вектор напряженности поля имеет направление ...

- 1) 3;                      2) 4;  
3) 1;                      4) 2.



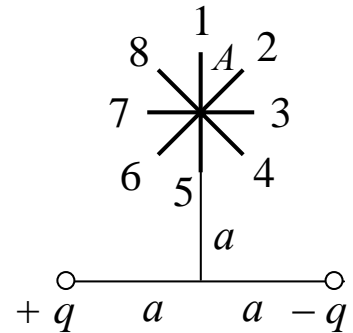
11.15. Поле создано равномерно заряженной сферической поверхностью с зарядом  $-q$ . Укажите направление вектора градиента потенциала в точке  $A$ .

- 1)  $A-3$ ;                      2)  $A-2$ ;  
3)  $A-1$ ;                      4)  $A-4$ .



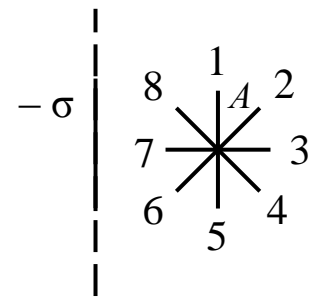
11.16. Электростатическое поле создано системой точечных зарядов  $+q$  и  $-q$  (см. рисунок). Градиент потенциала в точке  $A$  ориентирован в направлении...

- 1) 5;                      2) 1;  
3) 7;                      4) 3;  
5) 2;                      6) 4;  
7) 6;                      8) 8.



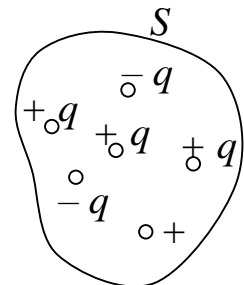
11.17. Поле создано бесконечной равномерно заряженной плоскостью ( $\sigma$  – поверхностная плотность заряда). Градиент потенциала в точке  $A$  ориентирован в направлении...

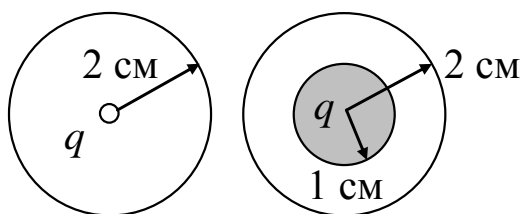
- 1) 5;                      2) 3;  
3) 2;                      4) 8;  
5) 7;                      6) 4;  
7) 6;                      8) 1.



11.18. Поток вектора напряженности электростатического поля через замкнутую поверхность  $S$  равен...

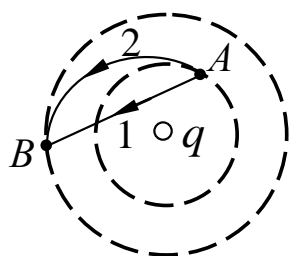
- 1)  $\frac{6q}{\epsilon_0}$ ;                      2) 0;  
3)  $\frac{2q}{\epsilon_0}$ ;                      4)  $\frac{4q}{\epsilon_0}$ .





11.19. На рисунке изображены точечный заряд, заряженный шарик радиусом 1 см и сфера радиусом 2 см. Величины зарядов шарика и точечного заряда одинаковы. Сравнивая поток вектора напряженности электростатического поля через сферу от точечного заряда и шарика, можно убедиться, что...

- 1) поток заряженной сферы больше;
- 2) поток одинаковый;
- 3) поток точечного заряда больше;
- 4) поток равен нулю в обоих случаях.



11.20. Поле создано точечным зарядом  $q$ . Пробный заряд перемещают из точки  $A$  в точку  $B$  по двум различным траекториям. Верным является утверждение...

- 1) наибольшая работа совершается при движении по траектории 2;
- 2) работа в обоих случаях одинакова и *не* равна нулю;
- 3) наибольшая работа совершается при движении по траектории 1;
- 4) работа в обоих случаях одинакова и равна нулю.

11.21. Заряд 1 нКл переместился из точки, находящейся на расстоянии 1 см от поверхности заряженного проводящего шара радиусом 9 см, в бесконечность. Поверхностная плотность заряда шара  $1,1 \cdot 10^{-4}$  Кл/м<sup>2</sup>. Работа сил поля, совершаемая при этом перемещении, равна....

- 1) 10 мДж;
- 2) 1 мДж;
- 3) 0,1 мДж;
- 4) 0,001 мДж.

11.22. Два проводника заряжены до потенциалов 34 В и – 16 В. Заряд 100 нКл нужно перенести со второго проводника на первый. При этом необходимо совершить работу, равную...

- 1) 5 мкДж;
- 2) 18 мкДж;
- 3) 0,5 мкДж;
- 4) 1,8 мкДж.

## 12. Законы постоянного тока

- **Сила тока ( $I$ )** – скалярная величина, численно равная заряду, перенесённому через поперечное сечение проводника в единицу времени:

$$I(t) = \frac{dQ}{dt}.$$

- **Постоянный ток** – ток сила и направление которого не изменяются с течением времени:

$$I = \frac{Q}{t}.$$

- **Плотность тока  $\vec{j}$** :

а) в векторном виде:

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS} \vec{n},$$

где  $dS$  – площадь поперечного сечения проводника;

$\vec{n}$  – нормаль к площади сечения;

б) в скалярном виде:

$$j = \frac{dI}{dS};$$

в) через концентрацию зарядов:

$$j = ne \langle v \rangle,$$

где  $n$  – концентрация носителей заряда;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл – элементарный заряд;  $\langle v \rangle$  – средняя скорость движения зарядов.

- **Сопротивление проводника:**

а) по определению:

$$R = \frac{U}{I};$$

б) однородного линейного проводника:

$$R = \rho \frac{\ell}{S},$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление;  $\ell$  – длина;

$S$  – площадь поперечного сечения.

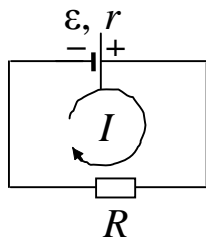
- **Удельное сопротивление проводника:**

$$\rho = \frac{R S}{\ell}.$$



• **Закон Ома:**

а) обобщенный:  $I = \frac{U}{R}$ ;



б) для замкнутого контура ( $\Phi_1 = \Phi_2$ ):

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

где  $\varepsilon, r$  – ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока;

в) для однородного участка (без источника тока),  $\varepsilon = 0, r = 0$ :

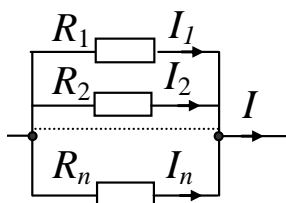
$$I = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R};$$

г) в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \gamma \cdot \vec{E},$$

где  $\vec{j}$  – плотность тока;  $\gamma$  – удельная проводимость;  $\vec{E}$  – напряжённость электрического поля.

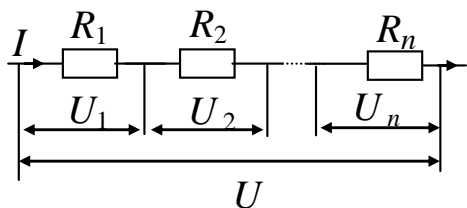
• **Соединение проводников:**



а) параллельное:

$$U = \text{const}; \quad I = I_1 + I_2 + \dots + I_n;$$

$$\frac{1}{R_{\text{пар}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$



б) последовательное:

$$I = \text{const}; \quad U = U_1 + U_2 + \dots + U_n;$$

$$R_{\text{послед}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

• **Работа тока:**

$$A = IU \cdot t = I^2 R \cdot t = \frac{U^2}{r} t.$$

• **Мощность тока:**

$$P = \frac{\Delta A}{\Delta t} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

• **Закон Джоуля – Ленца** определяет количество теплоты  $Q$ , выделившееся при протекании по проводнику постоянного тока  $I$  за время  $t$ :

$$Q = I^2 R t = IU t = \frac{U^2}{R} t.$$

- КПД  $\eta$  электрической цепи:

$$\eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{затр}}} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{R_{\text{H}}}{(R_{\text{H}} + r)},$$

где  $P_{\text{пол}}$ ;  $P_{\text{затр}}$  – полезная и затраченная мощности;  $U$  – напряжение на нагрузке;  $R_{\text{H}}$  – сопротивление нагрузки.

### Тестовые задания

12.1. Напряжение на концах медного провода диаметром  $d$  и длиной  $\ell$  равно  $U$ . Если, не меняя напряжения, увеличить длину провода в 2 раза, то скорость направленного движения электронов вдоль проводника...

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

12.2. Напряжение на концах медного провода диаметром  $d$  и длиной  $\ell$  равно  $U$ . Если взять медный провод диаметром  $d$ , но длиной  $2\ell$  и увеличить напряжение в 4 раза, то среднее время дрейфа электронов от одного конца проводника до другого ...

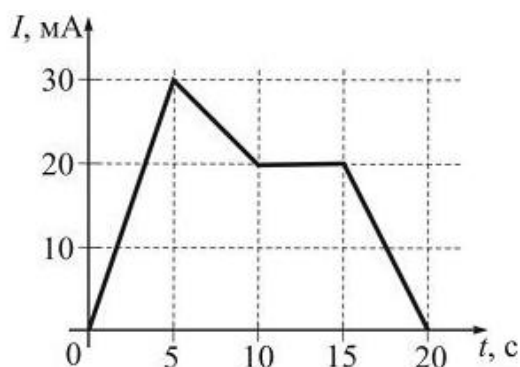
- 1) увеличится в 2 раза;
- 2) увеличится в 4 раза;
- 3) уменьшится в 2 раза;
- 4) не изменится.

12.3. Напряжение на концах медного провода диаметром  $d$  и длиной  $\ell$  равно  $U$ . Если взять медный провод диаметром  $2d$  той же длины и увеличить напряжение в 4 раза, то скорость направленного движения электронов вдоль проводника...

- 1) увеличится в 16 раз;
- 2) увеличится в 2 раза;
- 3) увеличится в 4 раза;
- 4) уменьшится в 4 раза.

12.4. На рисунке показана зависимость силы тока в электрической цепи от времени. Наибольший заряд протечет через поперечное сечение проводника в интервале времени...

- 1) 5-10 с;
- 2) 0-5 с;
- 3) 10-15 с;
- 4) 15-20 с.



12.5. Для условия теста 12.4 наименьший заряд протечет через поперечное сечение проводника в интервале времени...

- 1) 5-10 с;
- 2) 0-5 с;
- 3) 10-15 с;
- 4) 15-20 с.

12.6. Сила тока в проводнике в течение интервала времени  $t$  равномерно увеличивается от 0 до  $I$ , затем в течение такого же промежутка времени остается постоянной, а затем за тот же интервал времени равномерно уменьшается до нуля. За все время через проводник прошел заряд  $q$ , равный...

- 1) 0;                      2)  $q = 2It$ ;                      3)  $q = It$ ;                      4)  $q = 4It$ .

12.7. Выражение  $\frac{\varepsilon}{R+r}$ , где  $\varepsilon$  – ЭДС источника тока;  $R$  – величина внешнего сопротивления,  $r$  – внутреннее сопротивление источника, представляет собой...

- 1) напряжение на внешнем сопротивлении;
- 2) работу перемещения положительного единичного заряда по замкнутой цепи;
- 3) силу тока в замкнутой цепи;
- 4) напряжение на зажимах источника.

12.8. Выражение  $\frac{\varepsilon r}{R+r}$ , где  $\varepsilon$  – ЭДС источника тока;  $R$  – величина внешнего сопротивления;  $r$  – внутреннее сопротивление источника, представляет собой...

- 1) напряжение на внешнем сопротивлении;
- 2) работу перемещения положительного единичного заряда по замкнутой цепи;
- 3) силу тока в замкнутой цепи;
- 4) напряжение на зажимах источника.

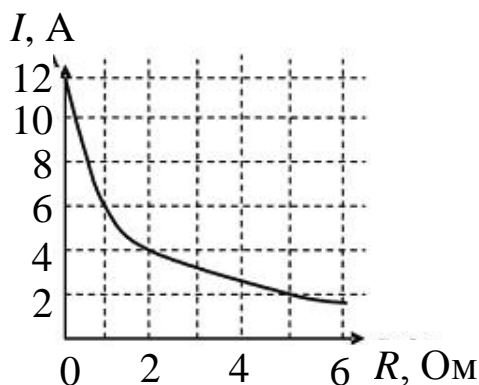
12.9. Выражение  $\frac{\varepsilon R}{R+r}$ , где  $\varepsilon$  – ЭДС источника тока;  $R$  – величина внешнего сопротивления;  $r$  – внутреннее сопротивление источника, представляет собой...

- 1) напряжение на внешнем сопротивлении;
- 2) работу перемещения положительного единичного заряда по замкнутой цепи;
- 3) силу тока в замкнутой цепи;
- 4) напряжение на зажимах источника.

12.10. Два одинаковых источника соединены последовательно. Если их соединить параллельно, то сила тока короткого замыкания...

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

12.11. На рисунке представлены результаты экспериментального исследования зависимости силы тока в цепи от значения сопротивления, подключенного к источнику постоянного тока. ЭДС источника и его внутреннее сопротивление соответственно равны ...



- 1) 24 В, 3 Ом;  
2) 18 В, 2 Ом;  
3) 9 В, 0,5 Ом;  
4) 12 В, 1 Ом.

12.12. Для рисунка предыдущего теста КПД источника при сопротивлении 4 Ом составляет...

- 1) 80 %;                      2) 75 %;                      3) 83 %;                      4) 67 %.

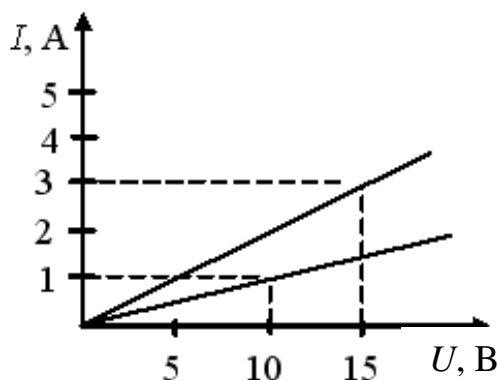
12.13. Птица сидит на проводе линии электропередачи, сопротивление которого  $2,5 \cdot 10^{-5}$  Ом на каждый метр длины. Если по проводу течет ток силой 2 кА, а расстояние между лапами птицы составляет 5 см, то птица находится под напряжением...

- 1) 2,5 мВ;                      2) 2 мкВ;                      3) 40 мВ;                      4) 0,3 В.

12.14. Если уменьшить в 2 раза напряженность электрического поля в проводнике, то плотность тока...

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

12.15. Вольт-амперные характеристики двух нагревательных спиралей изображены на рисунке. Сопротивление одной спирали больше сопротивления другой на...



- 1) 0,1 Ом;                      2) 25 Ом;  
3) 10 Ом;                      4) 5 Ом.



12.20. Установите соответствие:

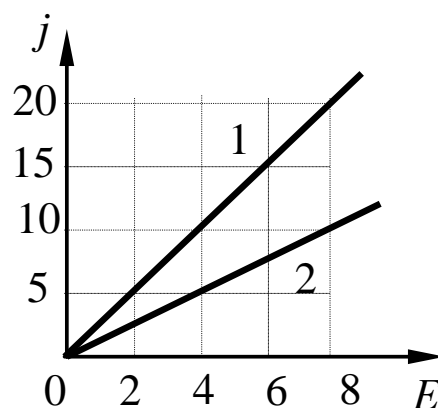
1	Закон Ома для однородного участка цепи
2	Закон Ома для неоднородного участка цепи
3	Закон Джоуля – Ленца
4	Закон Ома в дифференциальной форме
5	Закон Ома для замкнутого контура

А	$\vec{j} = \gamma \vec{E}$
Б	$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon}{R + r}$
В	$I = \frac{U}{R}$
Г	$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$
Д	$Q = I^2 R t$

- 1) 1 – Д; 2 – А; 3 – Г; 4 – В; 5 – Б;
- 2) 1 – В; 2 – Д; 3 – Б; 4 – Г; 5 – А;
- 3) 1 – В; 2 – Б; 3 – Д; 4 – А; 5 – Г;
- 4) 1 – А; 2 – Б; 3 – В; 4 – Г; 5 – Д.

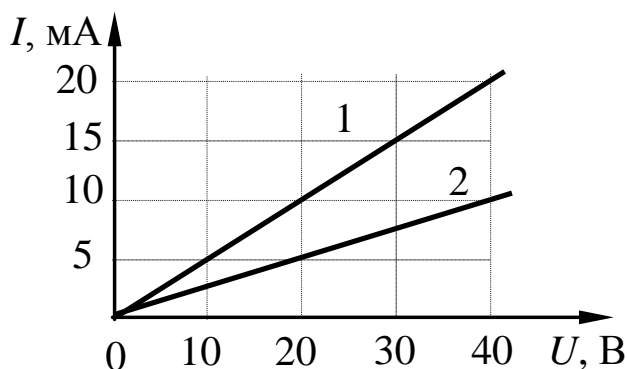
12.21. На рисунке представлена зависимость плотности тока  $j$ , протекающего в проводниках 1 и 2, от напряженности электрического поля  $E$ . Отношение удельных проводимостей  $\gamma_1/\gamma_2$  этих элементов равно...

- 1) 1/4;
- 2) 4;
- 3) 2;
- 4) 1/2.



12.22. Вольт-амперная характеристика активных элементов цепи 1 и 2 представлена на рисунке. На элементе 1 при токе 15 мА выделяется мощность...

- 1) 15 Вт;
- 2) 0,45 Вт;
- 3) 450 Вт;
- 4) 0,30 Вт.



### 13. Магнитостатика

- **Индукция магнитного поля  $\vec{B}$**  – векторная величина, являющаяся силовой характеристикой поля. Численное значение может быть выражено:
  - а) из вращающего момента, действующего на рамку с током;
  - б) закона Ампера;
  - в) выражения для силы Лоренца.

- **Напряжённость магнитного поля  $\vec{H}$**  – вспомогательная характеристика поля, не зависит от среды, связана с индукцией:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu},$$

где  $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная.

Направление  $\vec{H}$  совпадает с направлением  $\vec{B}$ .

- **Магнитная проницаемость среды  $\mu$**  показывает, во сколько раз магнитная индукция в веществе больше, чем в вакууме:

$$\mu = \frac{B}{B_0}.$$

- **Закон Био – Савара – Лапласа** определяет индукцию магнитного поля  $d\vec{B}$ , созданного элементом проводника  $d\vec{\ell}$  с током  $I$ :

а) в векторном виде:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I [d\vec{\ell} \times \vec{r}]}{r^3},$$

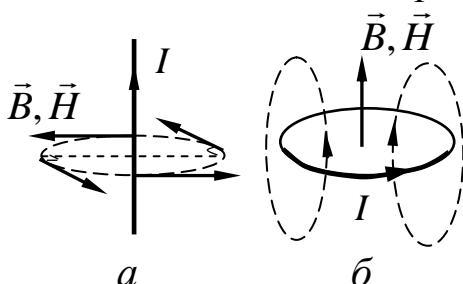
где  $\vec{r}$  – радиус - вектор, проведённый от начала элемента  $d\vec{\ell}$  в точку наблюдения (для вакуума  $\mu = 1$ );

б) в скалярном виде:

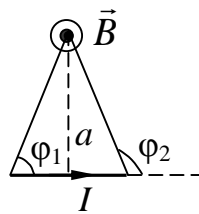
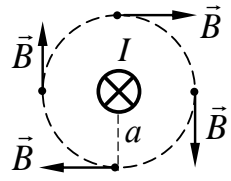
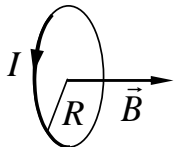
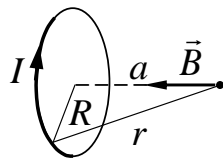
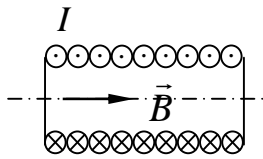
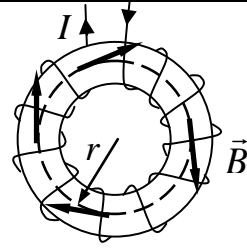
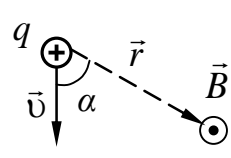
$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I \cdot d\ell \cdot \sin \alpha}{r^2},$$

где  $\alpha$  – угол между векторами  $d\vec{\ell}$  и  $\vec{r}$ .

- **Линии** магнитного поля всегда замкнуты и не пересекаются. Их направление определяется по *правилу правого винта* (или *буравчика*): если поле создается *прямым* током, то направление индукции определяется по направлению вращения *головки* винта (рис. а), а если поле создается *круговым* током, то направление индукции совпадает с направлением поступательного движения *ножки* правого винта (рис. б).



## Индукция магнитного поля, созданного симметричными проводниками с током

	формула	направление
Отрезок прямого проводника	$B = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{4\pi a} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)$	
Прямой, бесконечно длинный проводник	$B = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{2\pi \cdot a}$	
В центре кругового проводника	$B = \frac{\mu_0 \mu}{2} \frac{I}{R}$	
На оси кругового проводника	$B = \frac{\mu_0 \mu}{2} \frac{I \cdot R^2}{r^3};$ $r = \sqrt{a^2 + R^2}$	
На оси соленоида	$B = \frac{\mu_0 \mu \cdot N \cdot I}{\ell} = \mu_0 \mu \cdot n \cdot I,$ где $\ell$ – длина соленоида; $n = N/\ell$ – плотность намотки	
На оси тороида (кольцевая катушка)	$B = \frac{\mu_0 \mu \cdot N \cdot I}{2\pi \cdot r},$ где $N$ – число витков; $r$ – средний радиус	
Свободно движущийся заряд	$B = \frac{\mu_0 \mu \cdot qv}{4\pi r^2} \sin \alpha,$ где $\alpha$ – угол между $\vec{v}$ и $\vec{r}$ ; $r$ – расстояние от заряда до точки наблюдения	



- Принцип суперпозиции для индукции магнитного поля:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i.$$

- Теорема о циркуляции вектора  $\vec{B}$  в вакууме (закон полного тока в вакууме):

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k.$$

- Принцип суперпозиции для индукции магнитного поля:

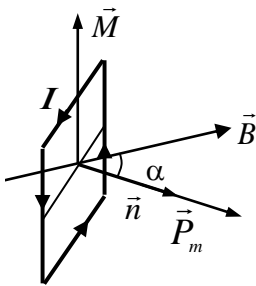
$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i.$$

- Магнитный момент плоского контура (рамки) с током:

$$\vec{p}_m = I \cdot S \cdot \vec{n};$$

$$p_m = I \cdot S,$$

где  $S$  – площадь контура (рамки);  $\vec{n}$  – вектор нормали к площади.



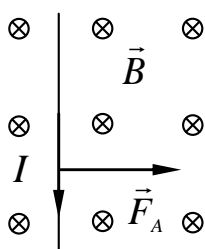
- Вращающий момент сил  $\vec{M}$ , действующий на рамку (контур) с током  $I$  в магнитном поле:

$$\vec{M} = [\vec{p}_m \times \vec{B}];$$

$$M = p_m \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

где  $\vec{p}_m$  – магнитный момент рамки;

$\alpha$  – угол между вектором индукции  $\vec{B}$  и нормалью  $\vec{n}$  к площади рамки.

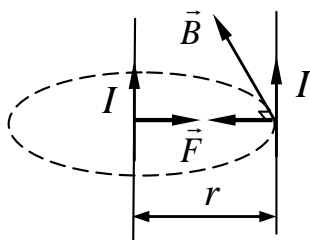


- Закон Ампера определяет силу, действующую на проводник с током со стороны магнитного поля:

$$\vec{F} = I \cdot [\vec{\ell} \times \vec{B}];$$

$$F = I \cdot \ell \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

где  $\ell$  – длина проводника;  $\alpha$  – угол между направлением тока и вектором индукции  $\vec{B}$ .



- Сила взаимодействия двух одинаковых параллельных проводников с током:

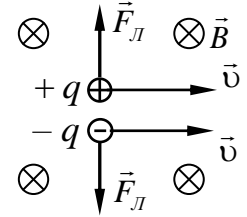
$$F = \frac{\mu_0 \mu \cdot \ell \cdot I^2}{2\pi \cdot r}.$$

Если токи текут в одном направлении, то проводники притягиваются, а если в разных, то отталкиваются.

- **Сила Лоренца** – сила, действующая со стороны магнитного поля на движущийся заряд:

$$\vec{F}_L = q \cdot [\vec{v} \times \vec{B}];$$

$$F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha.$$



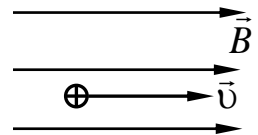
Направление силы Ампера (или силы Лоренца для положительного заряда) находится по правилу векторного произведения или **правилу левой руки**: если левую руку расположить так, чтобы вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  входил в ладонь, а четыре вытянутых пальца расположить по направлению тока (или скорости), то отогнутый большой палец покажет направление силы Ампера (или Лоренца).

Знак «-» заряда изменяет направление силы Лоренца на противоположное.

### Движение заряженной частицы

1. Частица влетает параллельно линиям индукции магнитного поля ( $\alpha = 0^\circ$ ):

$$F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha, \alpha = 0; \Rightarrow F_L = 0.$$



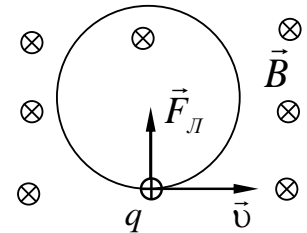
Частица будет двигаться *равномерно прямолинейно* в направлении линий поля, так как магнитное поле на такую частицу не действует.

2. Частица влетает перпендикулярно линиям индукции магнитного поля ( $\alpha = 90^\circ$ ).

Сила Лоренца является центростремительной, и частица будет двигаться *по окружности* в плоскости, перпендикулярной вектору  $\vec{B}$ :

$$\vec{F}_L = m\vec{a}_n;$$

$$|q| \cdot v \cdot B = m \frac{v^2}{R}.$$



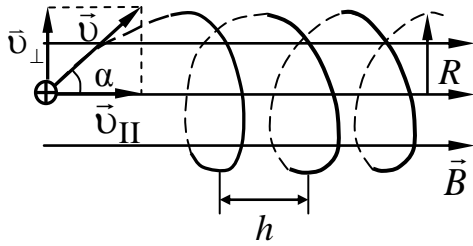
Радиус окружности:

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B};$$

Период обращения  $T$  – время одного оборота:

$$T = \frac{2\pi \cdot R}{v} = \frac{2\pi \cdot m}{q \cdot B}.$$

3. Частица влетает под углом  $\alpha$  к линиям индукции магнитного поля ( $0 < \alpha < 90^\circ$ ).



Движение представляет собой сумму двух видов движений:

1) равномерное прямолинейное вдоль поля со скоростью  $v_{||}$ , параллельной линиям индукции:

$$v_{||} = v \cdot \cos \alpha;$$

2) равномерное движение по окружности в плоскости, перпендикулярной полю, со скоростью:

$$v_{\perp} = v \cdot \sin \alpha.$$

В результате возникает движение по винтовой спирали, ось которой параллельна магнитному полю.

Радиус спирали:

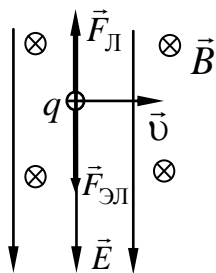
$$R = \frac{m \cdot v_{\perp}}{q \cdot B} = \frac{m \cdot v \cdot \sin \alpha}{q \cdot B}.$$

Период обращения:

$$T = \frac{2\pi \cdot R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi \cdot m}{q \cdot B}.$$

Шаг спирали:

$$h = v_{||} T = v \cdot T \cdot \cos \alpha = \frac{2\pi \cdot m}{q \cdot B} v \cdot \cos \alpha = 2\pi R \cdot \operatorname{ctg} \alpha.$$

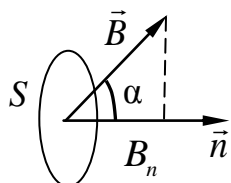


4. Частица движется в скрещенных электрическом и магнитном полях:

$$\vec{F} = \vec{F}_{\text{ЭЛ}} + \vec{F}_{\text{Л}} = q \cdot \vec{E} + q \cdot [\vec{v} \times \vec{B}].$$

Если силы по модулю одинаковы, то частица движется прямолинейно, если же одна из сил больше, то траектория искривляется в сторону действия большей силы.

• Поток магнитной индукции  $\Phi_B$  (магнитный поток) через произвольную поверхность площадью  $S$ :



$$\Phi_B = (\vec{B} \cdot \vec{S}) = B_n \cdot S = B \cdot S \cdot \cos \alpha,$$

где  $B_n$  – проекция вектора  $\vec{B}$  на направление нормали  $\vec{n}$  к площадке  $S$ ;  $\alpha$  – угол между векторами  $\vec{B}$  и  $\vec{n}$ .

- **Потокосцепление** (полный магнитный поток, сцепленный с  $N$  витками):

$$\Psi = N \cdot \Phi = N \cdot B \cdot S \cdot \cos \alpha.$$

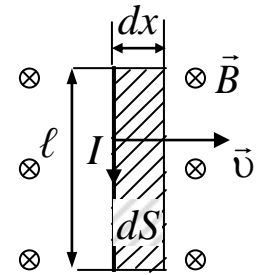
- **Теорема Гаусса для магнитного поля:** поток вектора магнитной индукции через любую замкнутую поверхность равен нулю:

$$\Phi_B = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0.$$

- **Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле:**

$$dA = I \cdot d\Phi,$$

где  $d\Phi$  – магнитный поток, пересечённый движущимся проводником.

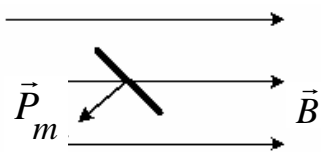


- **Работа по перемещению замкнутого контура с током в магнитном поле:**

$$A = I \cdot \Delta\Phi,$$

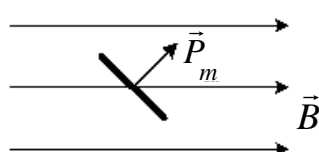
где  $\Delta\Phi$  – изменение магнитного потока, сцепленного с контуром.

## Тестовые задания



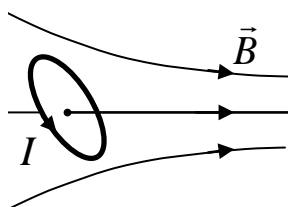
13.1. Рамка с током с магнитным дипольным моментом, направление которого указано на рисунке, находится в однородном магнитном поле. Момент сил, действующий на диполь, направлен...

- 1) противоположно вектору магнитной индукции;
- 2) перпендикулярно плоскости рисунка от нас;
- 3) по направлению вектора магнитной индукции;
- 4) перпендикулярно плоскости рисунка к нам.



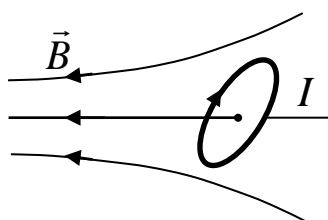
13.2. Рамка с током и магнитным дипольным моментом, направление которого указано на рисунке, находится в однородном магнитном поле. Момент сил, действующих на диполь, направлен...

- 1) перпендикулярно плоскости рисунка к нам;
- 2) перпендикулярно плоскости рисунка от нас;
- 3) по направлению вектора магнитной индукции;
- 4) противоположно вектору магнитной индукции.



13.3. Небольшой контур с током помещен в неоднородное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Плоскость контура перпендикулярна плоскости чертежа, но не перпендикулярна линиям индукции. Под действием поля контур...

- 1) повернется по часовой стрелке и сместится вправо;
- 2) повернется против часовой стрелки и сместится вправо;
- 3) повернется против часовой стрелки и сместится влево;
- 4) повернется по часовой стрелке и сместится влево.



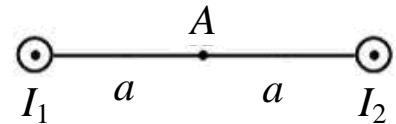
13.4. Небольшой контур с током помещен в неоднородное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Плоскость контура перпендикулярна плоскости чертежа, но не перпендикулярна линиям индукции. Под действием поля контур...

- 1) повернется по часовой стрелке и сместится вправо;
- 2) повернется против часовой стрелки и сместится вправо;
- 3) повернется против часовой стрелки и сместится влево;
- 4) повернется по часовой стрелке и сместится влево.

13.5. Виток с магнитным моментом  $\vec{p}_m$  свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$ . Если виток повернуть на угол  $30^\circ$  вокруг оси, лежащей в плоскости витка, то на него будет действовать вращающий момент, равный...

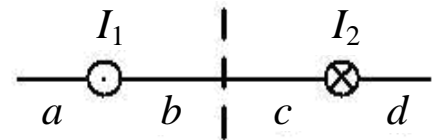
- 1)  $-\frac{p_m B}{2}$ ;      2)  $\frac{p_m B}{2}$ ;      3)  $-\frac{\sqrt{3}}{2} p_m B$ ;      4)  $\frac{\sqrt{3}}{2} p_m B$ .

13.6. Магнитное поле создано двумя параллельными длинными проводниками с токами  $I_1$  и  $I_2$ , (см. рисунок). Если  $I_1 = 2 I_2$ , то вектор индукции  $\vec{B}$  результирующего поля в точке  $A$  направлен...



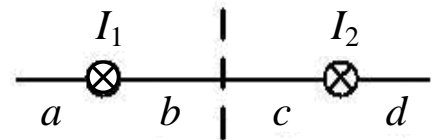
- 1) вверх;      2) влево;      3) вниз;      4) вправо.

13.7. На рисунке изображены сечения двух параллельных прямолинейных длинных проводников с противоположно направленными токами, причем  $I_1 = 2 I_2$ . Индукция  $\vec{B}$  результирующего магнитного поля равна нулю в некоторой точке интервала...



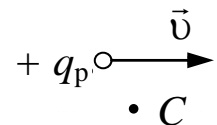
- 1)  $a$ ;      2)  $c$ ;      3)  $d$ ;      4)  $b$ .

13.8. На рисунке изображены сечения двух параллельных прямолинейных длинных проводников с одинаково направленными токами, причем  $I_2 = 2 I_1$ . Индукция  $\vec{B}$  результирующего магнитного поля равна нулю в некоторой точке интервала...



- 1)  $d$ ;      2)  $b$ ;      3)  $c$ ;      4)  $a$ .

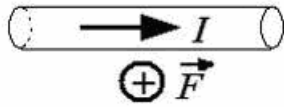
13.9. На рисунке изображен вектор скорости движущегося протона. Вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  поля, создаваемого протоном при движении, в точке  $C$  направлен...



- 1) на нас;      2) от нас;  
3) вниз;      4) вверх.

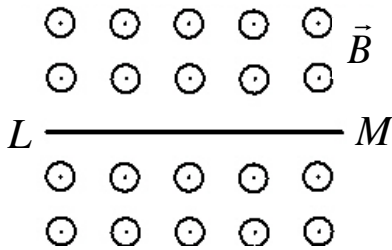
13.10. При наложении двух однородных магнитных полей с  $B_1 = 0,3$  Тл,  $B_2 = 0,4$  Тл друг на друга так, что силовые линии полей взаимно перпендикулярны, модуль магнитной индукции  $B$  результирующего поля равен...

- 1) 0,4 Тл;      2) 0,5 Тл;      3) 0,7 Тл;      4) 0,1 Тл.



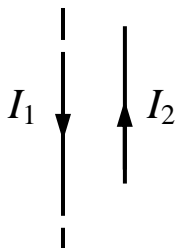
13.11. В однородном магнитном поле на проводник с током, направленным вправо, действует сила Ампера, направленная перпендикулярно плоскости рисунка от наблюдателя. При этом линии магнитной индукции поля направлены...

- 1) влево;                      2) вниз;                      3) вправо;                      4) вверх.



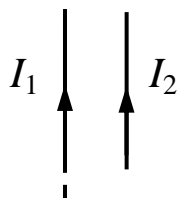
13.12. На рисунке изображен проводник с током, помещенный в однородное магнитное поле с индукцией  $B$ , направленное перпендикулярно плоскости чертежа к нам. Укажите правильную комбинацию направления тока в проводнике и вектора силы Ампера.

- 1) ток в направлении  $M-L$ ; сила Ампера - от нас;  
 2) ток в направлении  $L-M$ ; сила Ампера – вверх;  
 3) ток в направлении  $M-L$ ; сила Ампера - к нам;  
 4) ток в направлении  $L-M$ ; сила Ампера – вниз.



13.13. Поле создано прямолинейным длинным проводником с током  $I_1$ . Если отрезок проводника с током  $I_2$  расположен в одной плоскости с длинным проводником так, как показано на рисунке, то сила Ампера...

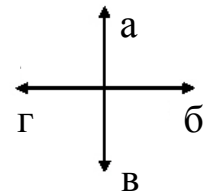
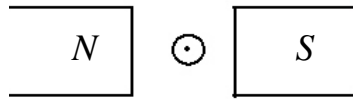
- 1) лежит в плоскости чертежа и направлена вправо;  
 2) лежит в плоскости чертежа и направлена влево;  
 3) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена от нас;  
 4) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена к нам.



13.14. Поле создано прямолинейным длинным проводником с током  $I_1$ . Если отрезок проводника с током  $I_2$  расположен в одной плоскости с длинным проводником так, как показано на рисунке, то сила Ампера...

- 1) лежит в плоскости чертежа и направлена вправо;  
 2) лежит в плоскости чертежа и направлена влево;  
 3) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена от нас;  
 4) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена к нам.

13.15. Сила, действующая на проводник с током, находящийся между полюсами магнита так, как показано на рисунке, имеет направление...

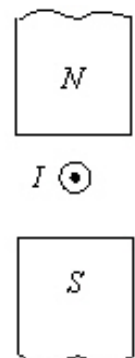


- 1) б;                      2) в;                      3) г;                      4) а.

13.16. Электрон влетает в магнитное поле так, что его скорость параллельна линиям индукции магнитного поля. Траектория движения электрона представляет...

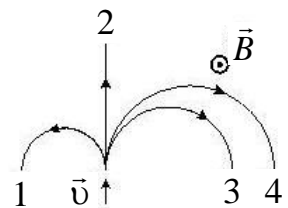
- 1) прямую линию;                      2) параболу;  
3) окружность;                      4) винтовую линию.

13.17. На рисунке изображено сечение проводника, находящегося между полюсами магнита. По проводнику течет ток  $I$ , направленный к нам. Сила Ампера направлена ...



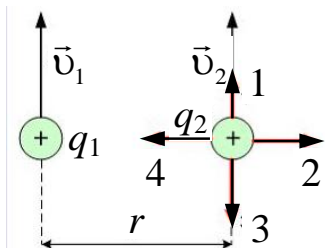
- 1) влево;  
2) вверх;  
3) вниз;  
4) вправо.

13.18. На рисунке указаны траектории заряженных частиц, имеющих одинаковую скорость и влетающих в однородное магнитное поле, направленное перпендикулярно плоскости чертежа. При этом для частицы 1...



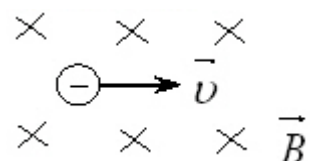
- 1)  $q < 0$ ;                      2)  $q > 0$ ;                      3)  $q = 0$ .

13.19. Два заряда  $q_1$  и  $q_2$  движутся параллельно друг другу на расстоянии  $r$  (см. рисунок). Магнитная составляющая силы, действующей на второй заряд со стороны первого заряда,...



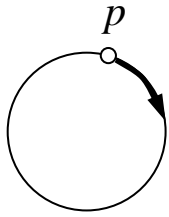
- 1) совпадает с направлением 3;  
2) совпадает с направлением 4;  
3) совпадает с направлением 2;  
4) совпадает с направлением 1.

13.20. На рисунке изображен электрон, движущийся перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. Сила Лоренца направлена...



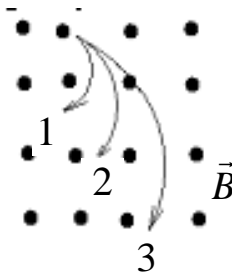
- 1) вниз;                      2) к нам;                      3) вверх;                      4) от нас.





13.21. Траектория движения протона в однородном магнитном поле представляет собой окружность (см. рисунок), Линии магнитной индукции поля направлены ...

- 1) влево;            2) к нам;  
3) вправо;            4) от нас.



13.22. Ионы, имеющие одинаковые скорости, но разные удельные заряды, влетают в однородное магнитное поле. Их траектории приведены на рисунке. Величина наименьшего удельного заряда соответствует траектории...

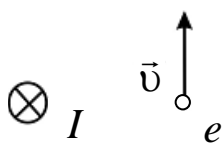
- 1) 3;                    2) 1;                    3) 2;  
4) характеристики траекторий не зависят от величины удельного заряда.

13.23. Ионы, имеющие одинаковые удельные заряды, влетают в однородное магнитное поле. Их траектории приведены на рисунке теста 13.22. Наибольшую скорость имеет ион, движущийся по траектории...

- 1) 1;                    2) 2;                    3) 3;  
4) характеристики траектории не зависят от заряда.

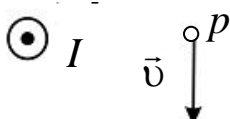
13.24. Ионы, имеющие одинаковые скорости и массы, влетают в однородное магнитное поле. Их траектории приведены на рисунке теста 13.22. Наибольший заряд имеет ион, движущийся по траектории...

- 1) 1;                    2) 2;                    3) 3;  
4) характеристики траектории не зависят от заряда.



13.25. Вблизи длинного проводника с током пролетает электрон со скоростью  $v$  (см. рисунок). Сила Лоренца направлена...

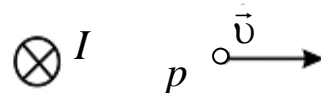
- 1) влево;            2) вправо;  
3) равна нулю;    4) к нам;            5) от нас.



13.26. Вблизи длинного проводника с током пролетает протон со скоростью  $v$  (см. рисунок). Сила Лоренца ...

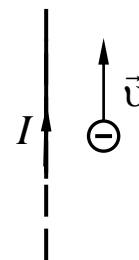
- 1) направлена влево;            2) направлена вправо;  
3) равна нулю;                    4) направлена к нам;  
5) направлена от нас.

13.27. Вблизи длинного проводника с током пролетает протон со скоростью  $v$  (см. рисунок). Сила Лоренца...



- 1) направлена влево;
- 2) направлена вправо;
- 3) равна нулю;
- 4) направлена к нам;
- 5) направлена от нас.

13.28. Электрон влетает в магнитное поле, создаваемое прямолинейным длинным проводником с током в направлении, параллельном проводнику (см. рисунок). При этом сила Лоренца, действующая на электрон,...

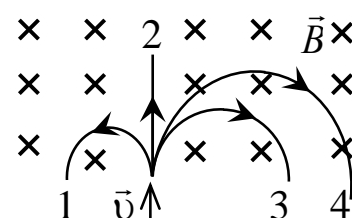


- 1) лежит в плоскости чертежа и направлена вправо;
- 2) лежит в плоскости чертежа и направлена влево;
- 3) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена от нас;
- 4) перпендикулярна плоскости чертежа и направлена к нам.

13.29. Протон влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции и начинает двигаться по окружности. При увеличении кинетической энергии протона ( $v \ll c$ ) в 4 раза радиус окружности...

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

13.30. На рисунке показаны траектории заряженных частиц, с одинаковой скоростью влетающих в однородное магнитное поле, перпендикулярное плоскости рисунка. При этом для зарядов и удельных зарядов частиц верным является утверждение...



- 1)  $q_1 > 0, q_2 = 0. \left(\frac{q}{m}\right)_1 > \left(\frac{q}{m}\right)_3 > \left(\frac{q}{m}\right)_4$ ;
- 2)  $q_1 > 0, q_2 = 0. \left(\frac{q}{m}\right)_1 < \left(\frac{q}{m}\right)_3 < \left(\frac{q}{m}\right)_4$ ;
- 3)  $q_3 < 0, q_4 < 0. \left(\frac{q}{m}\right)_1 < \left(\frac{q}{m}\right)_3 < \left(\frac{q}{m}\right)_4$ ;
- 4)  $q_3 > 0, q_4 > 0. \left(\frac{q}{m}\right)_1 > \left(\frac{q}{m}\right)_3 > \left(\frac{q}{m}\right)_4$ .

## 14. Явление электромагнитной индукции

- **Индуктивность контура  $L$**  (по определению):

$$L = \frac{\Phi}{I}.$$

- **Индуктивность катушки**, имеющей  $N$  витков (по определению):

$$L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{\Psi}{I}.$$

- **Индуктивность соленоида** (длинная катушка):

$$L = \frac{\mu\mu_0 \cdot N^2}{\ell} S = \mu\mu_0 n^2 V,$$

где  $n = \frac{N}{\ell}$  – плотность намотки (число витков, приходящихся на единицу длины);  $V = S\ell$  – объем соленоида.

**Явление ЭМИ** – это возникновение ЭДС индукции в замкнутом проводящем контуре при изменении внешнего магнитного потока, сцепленного с этим контуром.

- **Закон Фарадея для явления ЭМИ:** при всяком изменении магнитного потока, сцепленного с электропроводящим контуром, в контуре возникает ЭДС электромагнитной индукции, которая численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную этим контуром:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

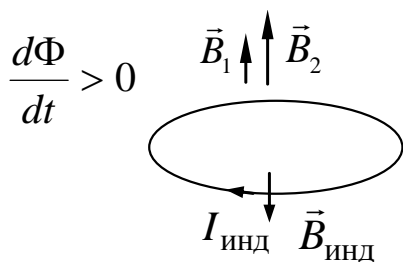
Если магнитный поток пронизывает  $N$  витков, то закон Фарадея имеет вид:

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt}.$$

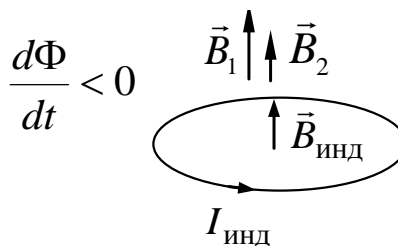
Знак « $-$ » отражает *правило Ленца*, которое позволяет найти направление индукционного тока: *индукционный ток в контуре направлен таким образом, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего данный ток.*

## Последовательность определения направления индукционного тока:

- 1) Определить или задать направление внешнего магнитного поля в месте расположения контура.
- 2) Установить, как изменяется внешний магнитный поток – возрастает или уменьшается.
- 3) Определить направление индукции магнитного поля индукционного тока  $\vec{B}_{\text{инд}}$  в зависимости от изменения внешнего магнитного поля. Если внешнее магнитное поле увеличивается, то  $\vec{B}_{\text{инд}}$  направлено в сторону, противоположную внешнему полю (рис. а), а если внешнее поле уменьшается, то в ту же сторону (рис. б).
- 4) По правилу правого винта определить направление индукционного тока:



а



б

Явление самоиндукции – возникновение ЭДС самоиндукции при изменении силы тока в самом контуре.

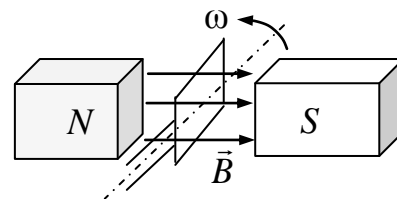
- **Закон Фарадея для явления самоиндукции:**

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}.$$

Знак «−» показывает, что наличие индуктивности в контуре приводит к замедлению изменения тока в нём. При увеличении силы тока ток самоиндукции направлен *против* основного тока, а при уменьшении – *в ту же сторону*, что и основной ток.

- **ЭДС индукции, возникающая при вращении рамки в однородном магнитном поле:**

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(BS \cos \omega t) = BS\omega \sin \omega t.$$



- Энергия магнитного поля:

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

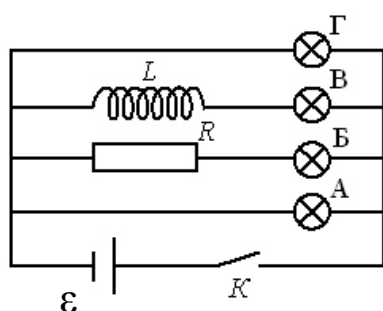
- Объёмная плотность энергии:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{BH}{2} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}.$$

### Тестовые задания

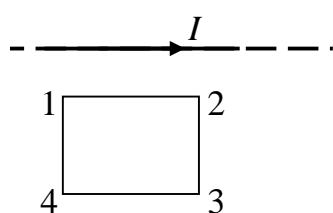
14.1. Индуктивность контура зависит от...

- 1) силы тока, протекающего в контуре;
- 2) скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную контуром;
- 3) формы и размеров контура, магнитной проницаемости среды;
- 4) материала, из которого изготовлен контур.



14.2. После замыкания ключа  $K$  в цепи, представленной на рисунке, позже других загорится лампочка...

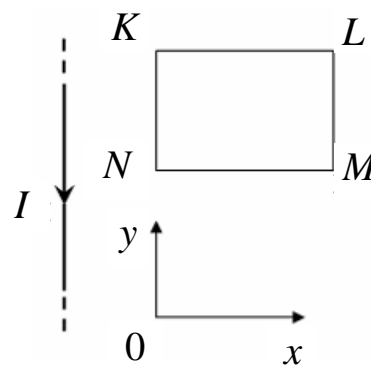
- 1) А;
- 2) Б;
- 3) В;
- 4) Г.



14.3. На рисунке показан длинный проводник с током, в одной плоскости с которым находится небольшая проводящая рамка. При *выключении* в проводнике тока заданного направления, в рамке...

- 1) возникает индукционный ток в направлении 4-3-2-1;
- 2) индукционного тока не возникает;
- 3) возникает индукционный ток в направлении 1-2-3-4.

14.4. Прямоугольная проволочная рамка расположена в одной плоскости с прямолинейным длинным проводником, по которому течет ток  $I$ . Индукционный ток в рамке будет направлен по часовой стрелке при ее...

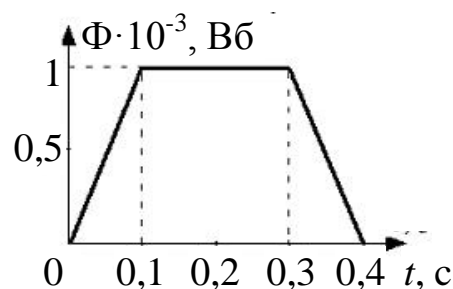


- 1) поступательном перемещении в положительном направлении оси  $OY$ ;
- 2) поступательном перемещении в отрицательном направлении оси  $OX$ ;
- 3) поступательном перемещении в положительном направлении оси  $OX$ ;
- 4) вращении вокруг оси, совпадающей с длинным проводником.

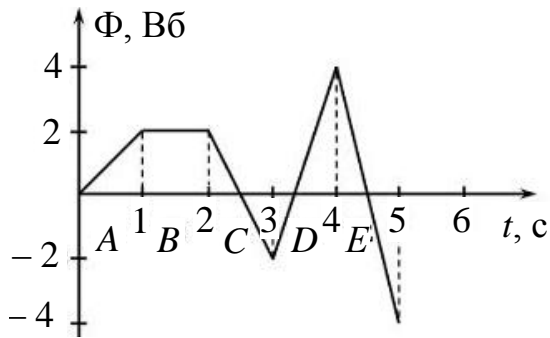
14.5. Для условия теста 14.4 индукционный ток в рамке будет направлен против часовой стрелки при ее...

- 1) поступательном перемещении в положительном направлении оси  $OY$ ;
- 2) поступательном перемещении в отрицательном направлении оси  $OX$ ;
- 3) поступательном перемещении в положительном направлении оси  $OX$ ;
- 4) вращении вокруг оси, совпадающей с длинным проводником.

14.6. На рисунке представлена зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый контур, от времени. Максимальное значение ЭДС индукции в контуре равно...



- |                 |                           |
|-----------------|---------------------------|
| 1) 10 В;        | 2) $2,5 \cdot 10^{-3}$ В; |
| 3) $10^{-2}$ В; | 4) $10^{-3}$ В.           |



14.7. На рисунке представлена зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый замкнутый контур, от времени. ЭДС индукции в контуре не возникает на интервале...

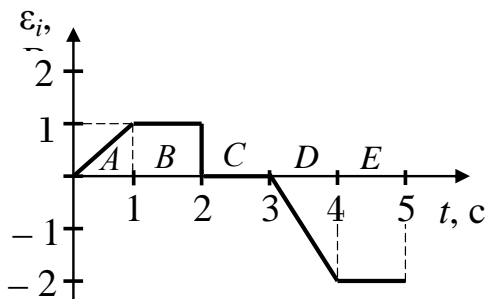
- 1) E;                      2) C;  
 3) B;                      4) D;  
 5) A.

14.8. На рисунке теста 14.7 представлена зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый замкнутый контур, от времени. ЭДС индукции в контуре по модулю максимальна на интервале...

- 1) D;                      2) B;                      3) A;                      4) C;                      5) E.

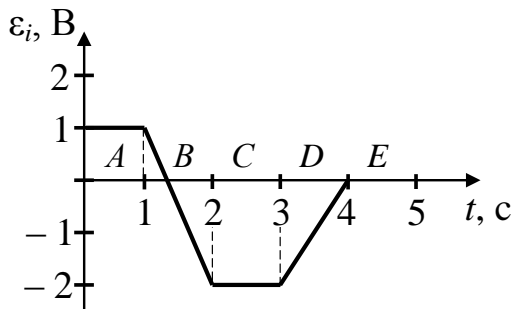
14.9. На рисунке теста 14.7 представлена зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый замкнутый проводящий контур. В первую секунду модуль ЭДС индукции в контуре равен...

- 1) 2 В;                      2) 1 В;                      3) 0 В;                      4) 1/2 В.



14.10. На рисунке представлена зависимость ЭДС индукции в контуре от времени. Магнитный поток сквозь площадку, ограниченную контуром, увеличивается со временем по линейному закону в интервале...

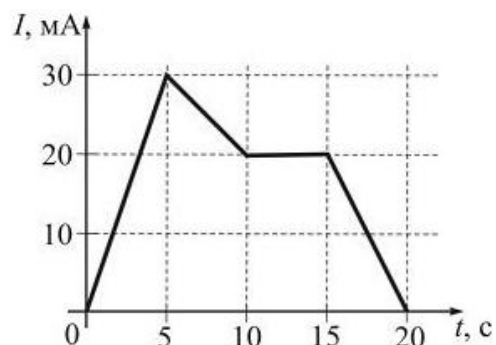
- 1) E;                      2) B;  
 3) A;                      4) D;  
 5) C.



14.11. На рисунке представлена зависимость ЭДС индукции в контуре от времени. Магнитный поток сквозь площадку, ограниченную контуром, увеличивается со временем по закону  $\Phi = at^2 + bt + c$  ( $a, b, c$  – постоянные) в интервале...

- 1) B;                      2) C;                      3) A;                      4) D;                      5) E.

14.12. На рисунке показана зависимость силы тока от времени в электрической цепи с индуктивностью 1 мГн. Модуль среднего значения ЭДС самоиндукции в интервале времени от 5 до 10 с равен...



- 1) 0;                      2) 2 мкВ;  
3) 10 мкВ;              4) 20 мкВ.

14.13. Для условия теста 14.12 модуль среднего значения ЭДС самоиндукции в интервале времени от 15 до 20 с равен...

- 1) 2 мкВ;              2) 4 мкВ;              3) 30 мкВ;              4) 20 мкВ.

14.14. Индуктивность рамки 40 мГн. Если за время 0,01 с сила тока в рамке увеличилась на 0,2 А, то ЭДС самоиндукции, наведенная в рамке, равна...

- 1) 800 мВ;              2) 8 мВ;              3) 8 В;              4) 0,8 мВ.

14.15. Сила тока, протекающего в катушке, изменяется по закону  $I = 1 - 0,2t^2$ . Если при этом на концах катушки в момент времени 5 с наводится ЭДС самоиндукции величиной  $\varepsilon_s = 2,0 \cdot 10^{-2}$  В, то индуктивность катушки равна...

- 1) 0,1 Гн;              2) 0,2 Гн;              3) 0,02 Гн;              4) 0,01 Гн.

14.16. Сила тока, протекающего в катушке, изменяется по закону  $I = 1 - 0,2t$ . Если при этом на концах катушки наводится ЭДС самоиндукции  $\varepsilon_s = 2,0 \cdot 10^{-2}$  В, то индуктивность катушки равна...

- 1) 0,1 Гн;              2) 0,4 Гн;              3) 4 Гн;              4) 1 Гн.

14.17. Через контур, индуктивность которого  $L = 0,02$  Гн, течет ток, изменяющийся по закону  $I = 0,5 \sin 500t$ . Амплитудное значение ЭДС самоиндукции, возникающей в контуре, равно...

- 1) 500 В;              2) 0,01 В;              3) 0,5 В;              4) 5 В.

14.18. Проводящий контур площадью  $100 \text{ см}^2$  расположен перпендикулярно к линиям магнитной индукции. Если магнитная индукция изменяется по закону  $B = (2 - 3t^2) \cdot 10^{-3}$  (Тл), то ЭДС индукции, возникающая в контуре в момент времени 2 с, равна...

- 1) 0,12 мВ;              2) 120 мВ;              3) 1,2 мВ;              4) 12 мВ.



14.19. Проводящий контур площадью  $75 \text{ см}^2$  расположен перпендикулярно к линиям магнитной индукции. Если магнитная индукция изменяется по закону  $B = (5 - 2t^3) \cdot 10^{-3}$  (Тл), то ЭДС индукции, возникающая в контуре в момент времени 2 с, равна...

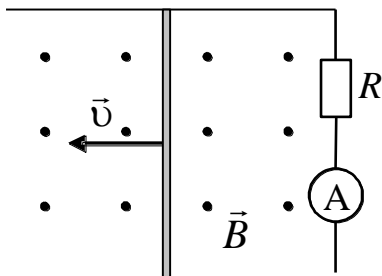
- 1) 0,18 мВ      2) 180 мВ;      3) 1,8 мВ;      4) 18 мВ.

14.20. Контур площадью  $S = 10^{-2} \text{ м}^2$  расположен перпендикулярно к линиям магнитной индукции, которая изменяется по закону  $B = (2 + 5t^2) \cdot 10^{-2}$  (Тл). ЭДС индукции, возникающая в контуре, изменяется по закону...

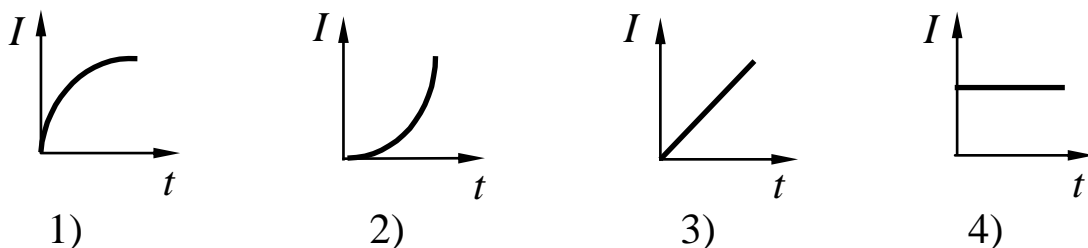
- 1)  $\varepsilon_i = 10^{-2} t$ ;      2)  $\varepsilon_i = -(2 + 5t^2) \cdot 10^{-4}$ ;  
 3)  $\varepsilon_i = (2 + 5t^2) \cdot 10^{-2}$ ;      4)  $\varepsilon_i = -10^{-3} t$ .

14.21. В магнитное поле, изменяющееся по закону  $B = 0,1 \cos 4\pi t$ , помещена квадратная рамка со стороной  $a = 10 \text{ см}$ . Нормаль к рамке совпадает с направлением изменения поля. ЭДС индукции, возникающая в рамке, изменяется по закону...

- 1)  $\varepsilon_i = -10^{-3} \sin 4\pi t$ ;      2)  $\varepsilon_i = -4\pi \cdot 10^{-3} \sin 4\pi t$ ;  
 3)  $\varepsilon_i = 4\pi \cdot 10^{-3} \sin 4\pi t$ ;      4)  $\varepsilon_i = 10^{-3} \sin 4\pi t$ .



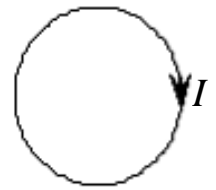
14.22. По параллельным металлическим проводникам, расположенным в однородном магнитном поле, с *постоянной скоростью* перемещается проводящая перемычка длиной  $\ell$  (см. рисунок). Если сопротивлением перемычки и направляющих можно пренебречь, то зависимость индукционного тока от времени можно представить графиком...



14.23. Если для условия теста 14.22 перемычка перемещается с *постоянным ускорением*, то зависимость индукционного тока от времени можно представить графиком...

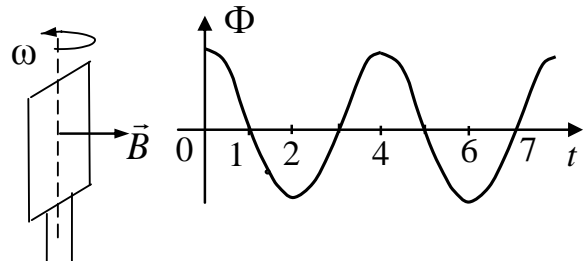
- 1) 1;      2) 2;      3) 3;      4) 4.

14.24. Сила тока в проводящем круговом контуре индуктивностью 0,1 Гн изменяется с течением времени  $t$  по закону  $I = 2 + 0,3t$ . Абсолютная величина ЭДС самоиндукции равна...



- 1) 0,03 В; индукционный ток направлен по часовой стрелке;
- 2) 0,2 В, индукционный ток направлен против часовой стрелки;
- 3) 0,2 В; индукционный ток направлен по часовой стрелке;
- 4) 0,03 В; индукционный ток направлен против часовой стрелки.

14.25. Проводящая рамка вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega$  в однородном магнитном поле  $\vec{B}$  вокруг оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной вектору индукции (см. рисунок). На



рисунке также представлен график зависимости от времени потока вектора магнитной индукции, пронизывающего рамку.

Если максимальное значение магнитного потока 2 мВб, а время измерялось в секундах, то закон изменения со временем ЭДС индукции имеет вид...

- 1)  $\varepsilon_i = \pi \cdot 10^{-3} \sin 0,5\pi t$ ;
- 2)  $\varepsilon_i = \pi \cdot 10^{-3} \cos 0,5\pi t$ ;
- 3)  $\varepsilon_i = 2 \cdot 10^{-3} \cos \pi t$ ;
- 4)  $\varepsilon_i = 2 \cdot 10^{-3} \sin \pi t$ .

14.26. Если для условия теста 14.25 максимальное значение магнитного потока 4 мВб, сопротивление рамки 314 Ом, то закон изменения со временем силы индукционного тока имеет вид...

- 1)  $J_i = 2 \cdot 10^{-5} \sin 0,5\pi t$ ;
- 2)  $J_i = 2 \cdot 10^{-5} \cos 0,5\pi t$ ;
- 3)  $J_i = 2 \cdot 10^{-2} \cos \pi t$ ;
- 4)  $J_i = 2 \cdot 10^{-2} \sin \pi t$ .

14.27. Для условия теста 14.25 модуль ЭДС электромагнитной индукции, действующей в рамке, увеличивается от нуля до максимума в интервалах времени...

- 1) 3-5;
- 2) 1-2, 3-4, 5-6;
- 3) 1-3, 5-7;
- 4) 0-1, 2-3, 4-5, 6-7.

14.28. Для условия теста 14.25 модуль потока вектора электромагнитной индукции, пронизывающего рамку, убывает от максимума до нуля в интервалах времени...

- 1) 3-5;
- 2) 1-2, 3-4, 5-6;
- 3) 1-3, 5-7;
- 4) 0-1, 2-3, 4-5, 6-7.

## 15. Электрическое и магнитное поле в веществе

### Диэлектрики

- **Диэлектрики** – вещества, которые при обычных условиях практически не проводят электрический ток.
- **Поляризация диэлектрика** – явление превращения электрически нейтральной системы связанных зарядов вещества в систему ориентированных диполей.

### Типы диэлектриков

- **Неполярные** диэлектрики – вещества, молекулы которых симметричны, в отсутствие внешнего электрического поля имеют нулевой дипольный момент ( $N_2$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ).

Под действием внешнего электрического поля возникает индуцированный дипольный момент (*электронная или деформационная поляризация*).

- **Полярные** диэлектрики – вещества, молекулы которых вследствие асимметрии имеют ненулевой дипольный момент ( $H_2O$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $NH_3$ ).

В отсутствие внешнего электрического поля дипольные моменты полярных молекул вследствие теплового движения ориентированы хаотично, и их результирующий момент равен нулю.

Под действием внешнего электрического поля происходит ориентация имеющихся дипольных моментов по полю (*ориентационная или дипольная поляризация*).

- **Ионные** диэлектрики – вещества, молекулы которых имеют ионное строение ( $NaCl$ ,  $KCl$ ).

Под действием внешнего электрического поля происходит смещение подрешеток положительных ионов вдоль поля, а отрицательных ионов – против поля, возникают дипольные моменты (*ионная поляризация*).

- **Сегнетоэлектрики** – диэлектрики, которые в отсутствие внешнего поля обладают поляризованностью (самопроизвольной ориентацией дипольных моментов).

- **Поляризованность**  $\vec{P}$  – векторная величина, численно равная суммарному дипольному моменту единицы объема вещества:

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^n \frac{\vec{P}_i}{V}.$$

На рисунке показаны графики зависимости поляризованности диэлектриков от изменения напряженности внешнего электрического поля.



- **Диэлектрическая проницаемость** – скалярная величина, показывающая, во сколько раз напряженность электрического поля в вакууме больше, чем в диэлектрике:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}.$$

## Магнетики

- **Магнетики** – вещества, способные под действием магнитного поля приобретать магнитный момент (намагничиваться).

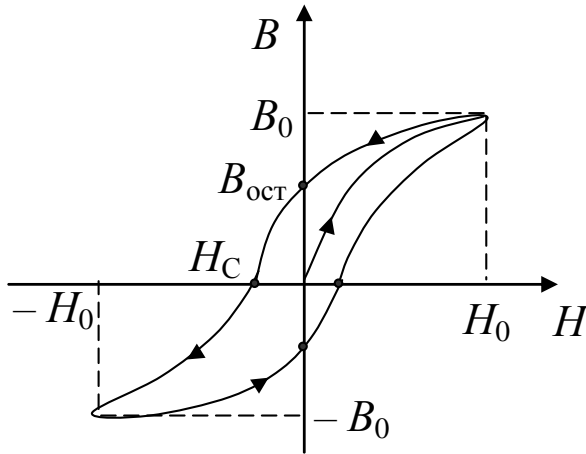
### Типы магнетиков

- **Диамагнетики** – вещества, ослабляющие внешнее магнитное поле (Bi, Zn, Cu, Ag, Au и др.). Магнитная проницаемость  $\mu < 1$ .
- **Парамагнетики** – вещества, усиливающие внешнее магнитное поле (Na, Al, Pt, редкоземельные металлы). Магнитная проницаемость  $\mu > 1$ .
- **Ферромагнетики** – вещества, обладающие спонтанной намагниченностью в отсутствие внешнего магнитного поля (Fe, Co, Ni и их сплавы).

*Основные свойства ферромагнетиков:*

- нелинейная зависимость намагниченности  $\vec{J}$  от напряженности  $\vec{H}$  внешнего магнитного поля;
- магнитная проницаемость намного больше единицы  $\mu \gg 1$ ;
- для каждого ферромагнетика существует *точка Кюри*  $T_C$ , – температура, выше которой вещество теряет ферромагнитные свойства и становится парамагнетиком;
- характерно явление *магнитного гистерезиса*;
- характерно явление *магнитострикции* – изменение линейных размеров и объёма в процессе намагничивания.

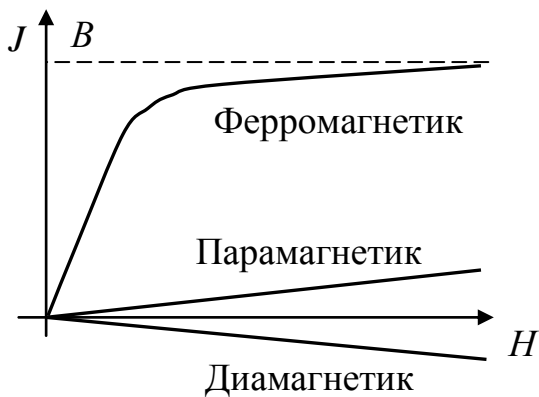
- **Магнитный гистерезис** – явление отставания изменения индукции магнитного поля  $B$  в ферромагнетике от изменения напряжённости  $H$  внешнего магнитного поля в процессе перемагничивания.



На рисунке показана петля гистерезиса – кривая зависимости  $B = f(H)$ , где  $B_{\text{ост}}$  – остаточная намагниченность (значение индукции магнитного поля в ферромагнетике при  $H = 0$ );  $H_C$  – коэрцитивная сила (напряженность внешнего магнитного поля, при которой индукция поля в ферромагнетике уменьшается до нуля);  $B_0$  – область насыщения.

- **Намагниченность  $\vec{J}$**  – векторная величина, численно равная суммарному магнитному моменту атомов (молекул) в единице объёма вещества:

$$\vec{J} = \frac{\sum \vec{p}_m}{V}.$$



На рисунке показаны кривые намагничивания для различных магнетиков.

## Тестовые задания

15.1. Полярными диэлектриками являются вещества,...

- 1) молекулы которых имеют симметричное строение;
- 2) для которых имеет место только электронная поляризация;
- 3) поляризованность которых зависит только от температуры;
- 4) у которых дипольные моменты молекул отличны от нуля.

15.2. При внесении неполярного диэлектрика в электрическое поле...

- 1) электрическое поле внутри диэлектрика усиливается;
- 2) электрическое поле внутри диэлектрика не изменяется;
- 3) собственные дипольные моменты молекул будут ориентироваться преимущественно в направлении линий напряженности внешнего поля;
- 4) у молекул появятся индуцированные дипольные моменты, ориентированные по направлению линий напряженности внешнего поля.

15.3. При помещении диэлектрика в электрическое поле напряженность электрического поля внутри бесконечного однородного изотропного диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ ...

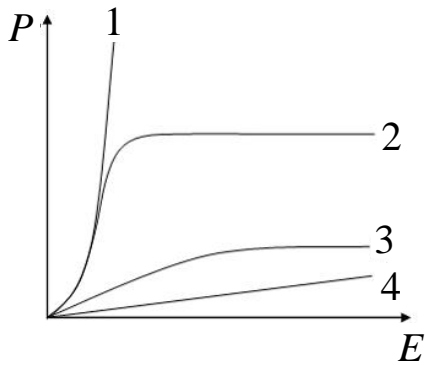
- 1) увеличивается в  $\epsilon$  раз;
- 2) остается равной нулю;
- 3) уменьшается в  $\epsilon$  раз;
- 4) остается неизменной.

15.4. Для ориентационной поляризации диэлектриков характерно...

- 1) наличие этого вида поляризации у всех видов диэлектриков;
- 2) влияние теплового движения молекул на степень поляризации;
- 3) расположение дипольных моментов строго по направлению внешнего электрического поля;
- 4) отсутствие влияния теплового движения молекул на степень поляризации диэлектрика.

15.5. Если внести металлический проводник в электрическое поле, то...

- 1) возникнут индуцированные заряды, которые распределятся по внешней поверхности проводника, а поле внутри проводника будет отсутствовать;
- 2) у молекул возникнут дипольные моменты, ориентированные в направлении, противоположном силовым линиям внешнего поля;
- 3) у молекул возникнут индуцированные дипольные моменты, ориентированные вдоль линий поля;
- 4) жесткие диполи молекул будут ориентироваться в среднем в направлении вдоль вектора напряженности электрического поля.



15.6. На рисунке представлены графики, отражающие характер зависимости поляризованности  $P$  диэлектрика от напряженности внешнего электрического поля  $E$ . Полярным диэлектрикам соответствует кривая...

- |       |       |
|-------|-------|
| 1) 3; | 2) 1; |
| 3) 4; | 4) 2. |

15.7. Для условия теста 15.6 неполярным диэлектрикам соответствует кривая...

- |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 1) 3; | 2) 1; | 3) 4; | 4) 2. |
|-------|-------|-------|-------|

15.8. Для условия теста 15.6 сегнетоэлектрикам соответствует кривая...

- |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 1) 3; | 2) 1; | 3) 4; | 4) 2. |
|-------|-------|-------|-------|

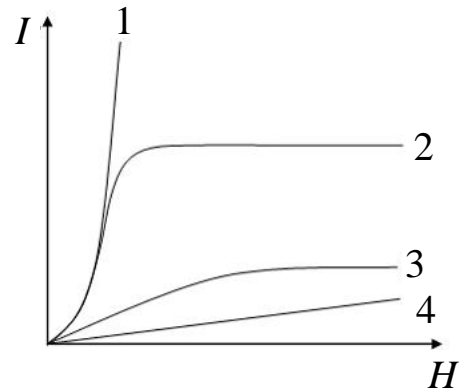
15.9. У присоединенного к источнику тока плоского конденсатора заряд на обкладках равен  $Q$ . Если между обкладками конденсатора поместить диэлектрик с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , то заряд станет равным...

- |                        |                   |                               |                           |
|------------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1) $(\epsilon - 1)Q$ ; | 2) $\epsilon Q$ ; | 3) $\frac{Q}{\epsilon - 1}$ ; | 4) $\frac{Q}{\epsilon}$ . |
|------------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------|

15.10. Присоединенный к источнику тока плоский конденсатор, заполненный диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , имеет энергию  $W$ . Если удалить диэлектрик, то энергия поля конденсатора станет равной...

- 1)  $\frac{W}{\epsilon}$ ;                      2)  $(\epsilon - 1)W$ ;                      3)  $\epsilon W$ ;                      4)  $\frac{W}{\epsilon - 1}$ .

15.11. На рисунке представлены графики, отражающие характер зависимости величины намагниченности  $I$  вещества (по модулю) от напряженности магнитного поля  $H$ .



Укажите зависимость, соответствующую диамагнетикам.

- 1) 3;                      2) 1;  
3) 2;                      4) 4.

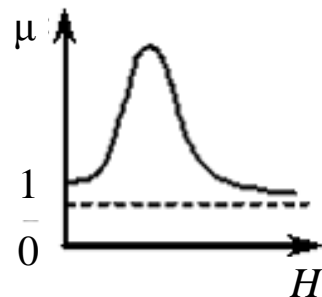
15.12. На рисунке к тесту 15.11 укажите зависимость  $I = f(H)$ , соответствующую ферромагнетикам.

- 1) 2;                      2) 4;                      3) 1;                      4) 3.

15.13. Парамагнетиком является вещество с магнитной проницаемостью...

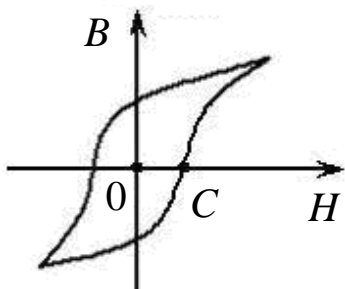
- 1)  $\mu = 1,00036$ ;                      2)  $\mu = 1$ ;  
3)  $\mu = 2600$ ;                      4)  $\mu = 0,999864$ .

15.14. На рисунке показана зависимость магнитной проницаемости  $\mu$  от напряженности внешнего магнитного поля  $H$  для ...



- 1) парамагнетика;  
2) любого магнетика;  
3) ферромагнетика;  
4) диамагнетика.





15.15. На рисунке показана зависимость проекции вектора индукции магнитного поля  $B$  в ферромагнетике от напряженности  $H$  внешнего магнитного поля.

Участок  $OC$  соответствует ...

- 1) коэрцитивной силе ферромагнетика;
- 2) магнитной индукции насыщения ферромагнетика;
- 3) остаточной намагниченности ферромагнетика;
- 4) остаточной магнитной индукции ферромагнетика.

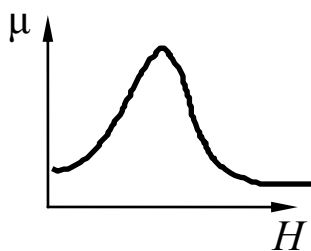
15.16. Индуцированный магнитный момент возникает во внешнем магнитном поле у атомов и молекул

- 1) парамагнетиков;
- 2) всех магнетиков;
- 3) диамагнетиков;
- 4) ферромагнетиков.

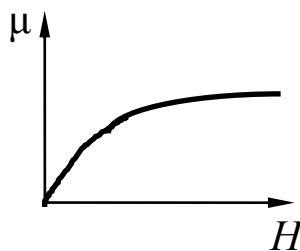
15.17. Вещество является однородным изотропным диамагнетиком, если...

- 1) магнитная восприимчивость мала, вектор намагниченности направлен в сторону, противоположную направлению внешнего магнитного поля;
- 2) магнитная восприимчивость мала, вектор намагниченности направлен в ту же сторону, что и внешнее магнитное поле;
- 3) магнитная восприимчивость велика, вектор намагниченности направлен в ту же сторону, что и внешнее магнитное поле;
- 4) магнитная восприимчивость велика, вектор намагниченности направлен в сторону, противоположную направлению внешнего магнитного поля.

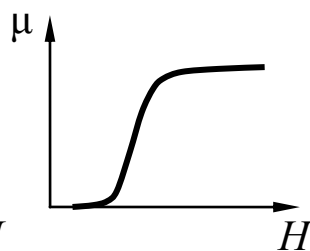
15.18. Характер зависимости магнитной проницаемости ферромагнетика  $\mu$  от напряженности внешнего магнитного поля  $H$  показан на графике ...



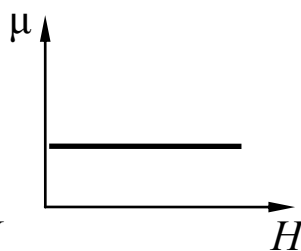
1)



2)



3)



4)

15.19. Точка Кюри для кобальта равна 1403 К. При температуре 1150 °С кобальт ведет себя во внешнем магнитном поле как...

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1) парамагнетик;  | 2) диамагнетик;   |
| 3) ферромагнетик; | 4) ферроэлектрик. |

15.20. Температура Кюри для железа равна 768 °С. При температуре 600 °С железо является...

- |                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| 1) парамагнетиком;  | 2) диамагнетиком;   |
| 3) ферромагнетиком; | 4) ферроэлектриком. |

15.21. *Неверным* для ферромагнетиков является утверждение...

- 1) магнитная проницаемость ферромагнетика – постоянная величина, характеризующая его магнитные свойства;
- 2) ферромагнетиками называются твердые вещества, которые могут обладать спонтанной намагниченностью, то есть могут быть намагниченными в отсутствие внешнего магнитного поля;
- 3) для ферромагнетика характерно явление магнитного гистерезиса: связь между магнитной индукцией (намагниченностью) и напряженностью внешнего магнитного поля оказывается неоднозначной и определяется предшествующей историей намагничивания ферромагнетика;
- 4) для каждого ферромагнетика имеется температура, называемая температурой или точкой Кюри, при которой ферромагнитные свойства исчезают.

## 16. Уравнения Максвелла

название	уравнение	физический смысл
<p>Теорема о циркуляции вектора напряжённости электрического поля</p> <p>Для <i>стационарного</i> электрического поля (<math>\vec{E} = \text{const}</math>)</p>	$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$ $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0$	<p>Источниками <i>вихревых электрических полей</i> является <i>переменное магнитное поле</i></p>
<p>Теорема о циркуляции вектора напряжённости магнитного поля</p> <p>Для <i>стационарного</i> магнитного поля (<math>\vec{B} = \text{const}</math>)</p>	$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \int_S \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$ $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \int_S \vec{j} d\vec{S} = I_\Sigma$	<p>Источниками <i>вихревого магнитного поля</i> являются <i>токи проводимости и переменные электрические поля</i></p> <p>Источниками <i>стационарного магнитного поля</i> являются только <i>токи проводимости</i></p>
<p>Теорема Гаусса для индукции электрического поля</p>	$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho \cdot dV$	<p>Источниками <i>стационарных электрических полей</i> являются только <i>неподвижные электрические заряды</i></p>
<p>Теорема Гаусса для индукции магнитного поля</p>	$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$	<p>В природе <i>нет магнитных зарядов</i></p>
	$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E},$ $\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}.$ $\vec{j} = \gamma \cdot \vec{E}$	<p>Учитывают свойства среды, в которых существуют электрические и магнитные поля</p>

Обозначения в таблице:  $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$  – вихревое электрическое поле;

$\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$  – переменное магнитное поле;  $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell}$  – вихревое магнитное поле;

$\int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}$  – переменное электрическое поле;  $\vec{j}$  – плотность тока проводимости;

$\rho$  – объемная плотность неподвижных электрических зарядов;

$\vec{D}$  – электрическое смещение;  $\gamma$  – удельная проводимость.

## Тестовые задания

16.1. Физический смысл уравнения Максвелла  $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$

заключается в следующем...

- 1) источником электрического поля являются свободные электрические заряды;
- 2) изменяющееся со временем магнитное поле порождает вихревое электрическое поле;
- 3) источником вихревого магнитного поля помимо токов проводимости является изменяющееся со временем электрическое поле;
- 4) «магнитных зарядов» не существует: силовые линии магнитного поля замкнуты.

16.2. Утверждение «Переменное электрическое поле, наряду с электрическим током, является источником магнитного поля» раскрывает физический смысл уравнения...

- |  |  |
|--|--|
| 1) $\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0;$   | 2) $\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho \cdot dV;$  |
| 3) $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S};$ | 4) $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \int_S \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}.$ |

16.3. Утверждение «В любой точке пространства изменяющееся со временем магнитное поле порождает вихревое электрическое поле» раскрывает физический смысл уравнения ...

- |  |  |
|--|--|
| 1) $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S};$ | 2) $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \int_S \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S};$ |
| 3) $\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho \cdot dV;$                                    | 4) $\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0.$   |

16.4. Полная система уравнений Максвелла для электромагнитного поля распадается на 2 группы независимых уравнений:

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0; \quad \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = q; \quad \oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = I; \quad \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0,$$

при условии, что...

- |   |  |
|---|--|
| 1) $\vec{B} = \text{const}; \quad \vec{E} = \text{const};$    | 2) $\vec{B} = \text{const}; \quad \vec{E} \neq \text{const};$    |
| 3) $\vec{B} \neq \text{const}; \quad \vec{E} = \text{const};$ | 4) $\vec{B} \neq \text{const}; \quad \vec{E} \neq \text{const}.$ |

16.5. Физический смысл уравнения  $\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$  заключается в том,

что оно описывает...

- 1) отсутствие магнитных зарядов;
- 2) отсутствие тока смещения;
- 3) явление электромагнитной индукции;
- 4) отсутствие электрического поля.

16.6. Уравнение Максвелла, описывающее отсутствие в природе магнитных зарядов, имеет вид...

- |   |  |
|---|--|
| 1) $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0;$ | 2) $\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0;$ |
| 3) $\oint_S E_n \cdot dS = 0;$              | 4) $\oint_L B_\ell \cdot d\ell = 0.$     |

16.7. Уравнения Максвелла являются основными законами классической макроскопической электродинамики, сформулированными на основе обобщения важнейших законов электростатики и электромагнетизма. Эти уравнения в интегральной форме имеют вид:

- 1)  $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S};$
- 2)  $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \int_S \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S};$
- 3)  $\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho \cdot dV;$
- 4)  $\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0.$

Третье уравнение Максвелла является обобщением ...

- 1) теоремы Остроградского - Гаусса для магнитного поля;
- 2) закона полного тока в среде;
- 3) закона электромагнитной индукции;
- 4) теоремы Остроградского - Гаусса для электростатического поля в среде.

16.8. Следующая система уравнений:

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S};$$

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho \cdot dV;$$

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{S};$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

справедлива для переменного электромагнитного поля...

- 1) в отсутствие заряженных тел и токов проводимости;
- 2) при наличии токов проводимости и в отсутствие заряженных тел;
- 3) при наличии заряженных тел и в отсутствие токов проводимости;
- 4) при наличии заряженных тел и токов проводимости.

16.9. Следующая система уравнений:

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S};$$

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \int_S \left( \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S};$$

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = 0;$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

справедлива ...

- 1) при наличии заряженных тел и в отсутствие токов проводимости;
- 2) при наличии заряженных тел и токов проводимости;
- 3) в отсутствие заряженных тел и токов проводимости;
- 4) при наличии токов проводимости и в отсутствие заряженных тел.

16.10. Следующая система уравнений:

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = 0;$$
$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho \cdot dV;$$
$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S};$$
$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

справедлива для...

- 1) стационарного электромагнитного поля в отсутствие токов проводимости;
- 2) стационарных электрических и магнитных полей;
- 3) стационарного электромагнитного поля в отсутствие заряженных тел;
- 4) переменного электромагнитного поля при наличии заряженных тел и токов проводимости.

16.11. Следующая система уравнений:

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S};$$
$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = 0;$$
$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{S};$$
$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0;$$

справедлива для...

- 1) электромагнитного поля в отсутствие свободных зарядов и токов проводимости;
- 2) электромагнитного поля в отсутствие свободных зарядов;
- 3) электромагнитного поля в отсутствие токов проводимости;
- 4) стационарных электрических и магнитных полей.

# IV. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

## 17. Свободные и вынужденные колебания

- **Колебания** – процессы любой физической природы, характеризующиеся повторяемостью во времени.
- **Свободные (собственные) колебания** – колебания, которые совершаются за счёт первоначально сообщённой энергии без дальнейшего внешнего воздействия на колебательную систему.
- **Вынужденные колебания** – колебания, которые совершаются под действием внешней периодически изменяющейся силы.
- **Гармонические колебания** – колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется по закону синуса (или косинуса).
- **Уравнение гармонического колебания:**

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0),$$

где  $x(t)$  – смещение точки в момент времени  $t$ ;

$A$  – *амплитуда* колебания – максимальное отклонение колеблющейся величины от положения равновесия.

$\varphi = (\omega t + \varphi_0)$  – *фаза колебания* – значение колеблющейся величины в данный момент времени;

$\varphi_0$  – *начальная фаза* – значение колеблющейся величины в момент времени  $t = 0$ ;

$\omega$  – *циклическая частота* – производная фазы по времени:

$$\omega = d\varphi / dt.$$

- **Период колебаний  $T$**  – время, в течение которого совершается одно полное колебание:

$$T = \frac{t}{N}.$$

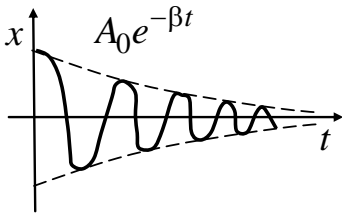
- **Периодические** колебания – колебания, период которых постоянен.
- **Частота  $\nu$**  колебаний – число полных колебаний, совершаемых за единицу времени, – величина, обратная периоду:

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}.$$

- **Электромагнитные колебания** – колебания электрических зарядов, электрического и магнитного полей.



- **Резонанс** – явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний при приближении частоты вынуждающей силы к частоте, равной или близкой собственной частоте колебательной системы.
- **Добротность  $Q$**  – величина, показывающая, во сколько раз амплитуда колебаний при резонансе превышает амплитуду колебаний вынуждающей силы (при малом затухании).

	Свободные незатухающие колебания	Свободные затухающие колебания	Вынужденные колебания
Дифференциальное уравнение колебаний	$x'' + \omega_0^2 x = 0$	$x'' + 2\beta x' + \omega_0^2 x = 0$ 	$x'' + 2\beta x' + \omega_0^2 x = a_0 \cos \Omega t$ При резонансе $\omega_0 = \Omega$
Уравнения колебаний	<p>Смещение: <math>x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)</math></p> <p>Скорость: <math>v(t) = x' = A\omega \cdot \cos(\omega t)</math></p> <p>Ускорение: <math>a = v' = -\omega^2 A \sin \omega t</math></p> <p>Энергия: <math>W_{\text{п}} = \frac{mA^2 \omega^2 \sin^2(\omega t)}{2}</math> <math>W_{\text{к}} = \frac{mA^2 \omega^2 \cos^2(\omega t)}{2}</math></p>	<p>Смещение: <math>x(t) = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)</math></p> <p>Время релаксации (постоянная времени): <math>\tau = \frac{1}{\beta}</math></p> <p>Логарифмический декремент затухания: <math>\lambda = \beta T</math></p> <p>Период: <math>T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}</math></p> <p>Частота: <math>\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}</math></p> <p>Добротность: <math>Q = \frac{\pi}{\lambda} = \frac{\pi}{\beta T}</math></p>	<p>Смещение: <math>x(t) = A \cos(\Omega t + \varphi)</math></p> <p>Амплитуда: <math>A = \frac{a_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2 \Omega^2}}</math></p> <p>Фаза: <math>\text{tg } \varphi = \frac{2\beta \Omega}{\omega_0^2 - \Omega^2}</math></p> <p>Резонансная частота: <math>\Omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}</math></p>

Обозначения в таблице:  $\omega_0$  – собственная частота;  
 $\beta$  – коэффициент затухания;  $\Omega$  – частота вынуждающей силы;  
 $a_0$  – амплитуда вынуждающей силы.

## Маятники

- **Физический маятник** – твердое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания вокруг неподвижной горизонтальной оси, не проходящей через центр тяжести маятника.

*Период колебаний физического маятника:*

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}},$$

где  $L = \frac{J}{m\ell}$  – приведенная длина;

$J$  – момент инерции маятника относительно точки подвеса.

- **Математический маятник** – материальная точка, подвешенная на длинной невесомой нерастяжимой нити в вакууме.

*Дифференциальное уравнение незатухающих колебаний:*

$$x'' + \frac{g}{\ell} x = 0,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $\ell$  – длина маятника.

*Уравнение колебаний математического маятника:*

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0).$$

*Период колебаний математического маятника:*

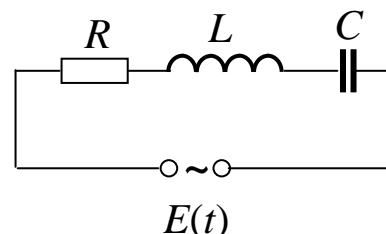
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}.$$

- **Пружинный маятник** – груз массой  $m$ , подвешенный на абсолютно упругой пружине, совершающий гармонические колебания под действием упругой силы.

*Период колебаний пружинного маятника:*

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

- **Колебательный контур** – электрическая цепь, содержащая последовательно включённые катушку индуктивности  $L$ , конденсатор  $C$  и резистор  $R$ .



*Закон изменения напряжения на конденсаторе:*

$$U = \frac{q_m}{C} \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$

*Закон изменения силы тока в колебательном контуре:*

$$I = \frac{dq}{dt} = -\omega_0 q_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0).$$

## Аналогия между механическими и электромагнитными колебаниями

	Пружинный маятник	Колебательный контур
Дифференциальные уравнения	<i>Незатухающие колебания</i>	
	$x'' + \frac{k}{m}x = 0$	$q'' + \frac{1}{LC}q = 0$
	<i>Затухающие колебания</i>	
	Свободные: $x'' + \frac{r}{m}x' + \frac{k}{m}x = 0$	Свободные: $q'' + \frac{R}{L}q' + \frac{1}{LC}q = 0$
	Вынужденные: $x'' + \frac{r}{m}x' + \frac{k}{m}x = \frac{F_0}{m} \cos \Omega t$	Вынужденные: $q'' + \frac{R}{L}q' + \frac{1}{LC}q = \frac{U_m}{L} \cos \Omega t$
Закон колебаний	<i>Незатухающие колебания</i>	
	$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$	$q(t) = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$
	<i>Затухающие колебания</i>	
	$x(t) = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$	$q(t) = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$
Частота незатухающих колебаний $\omega_0$	$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
Частота затухающих колебаний $\omega$	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{r^2}{4m^2}}$	$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$
Резонансная частота $\Omega_{\text{рез}}$	$\Omega_{\text{рез}} = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{r^2}{2m^2}}$	$\Omega_{\text{рез}} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}}$
Коэффициент затухания $\beta$	$\beta = \frac{r}{2m}$	$\beta = \frac{R}{2L}$
Период $T$	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$	<i>Формула Томсона:</i> $T = 2\pi \sqrt{LC}$
Добротность $Q$	$Q = \frac{\sqrt{km}}{r}$	$Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$
Энергия	<i>Потенциальная:</i> $W_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}$ <i>Кинетическая:</i> $W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$	<i>Электрического поля:</i> $W_{\text{эл}} = \frac{q^2}{2C}$ <i>Магнитного поля:</i> $W_{\text{м}} = \frac{LI^2}{2}$

Обозначения в таблице:  $r$  – коэффициент сопротивления;  $k$  – коэффициент упругости.

## Переменный ток

Полное электрическое сопротивление контура  $Z$ :

$$\underline{Z} = R + jX = Ze^{j\varphi};$$
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2},$$

где  $R$  — активное сопротивление;

$X = X_L - X_C$  — реактивное сопротивление;

$X_L = \omega L$  — индуктивное сопротивление;

$X_C = \frac{1}{\omega C}$  — емкостное сопротивление.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}; \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z}; \quad \sin \varphi = \frac{X}{Z}.$$

- **Векторная диаграмма токов и напряжений в колебательном контуре**

Напряжение на резисторе (совпадает с током по фазе):

$$U_R = IR.$$

Напряжение на катушке (опережает ток по фазе на  $\pi/2$ ):

$$U_L = IX_L = I\omega L.$$

Напряжение на конденсаторе (отстает от тока по фазе на  $\pi/2$ ):

$$U_C = IX_C = I/\omega C.$$

Напряжение источника:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}.$$

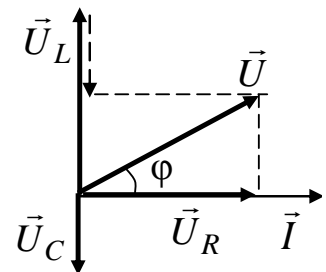
- **Действующие (эффективные) значения напряжения и тока:**

$$U_{\text{д}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; \quad I_{\text{д}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}},$$

где  $U_m, I_m$  — амплитудные значения напряжения и тока.

- **Мощность переменного тока:**

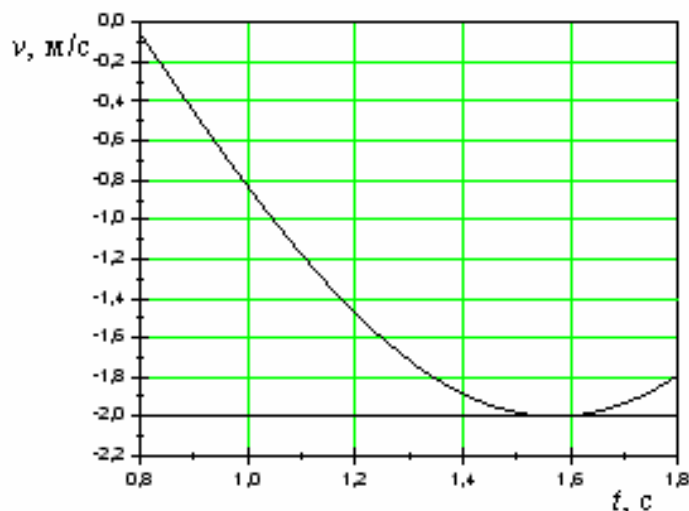
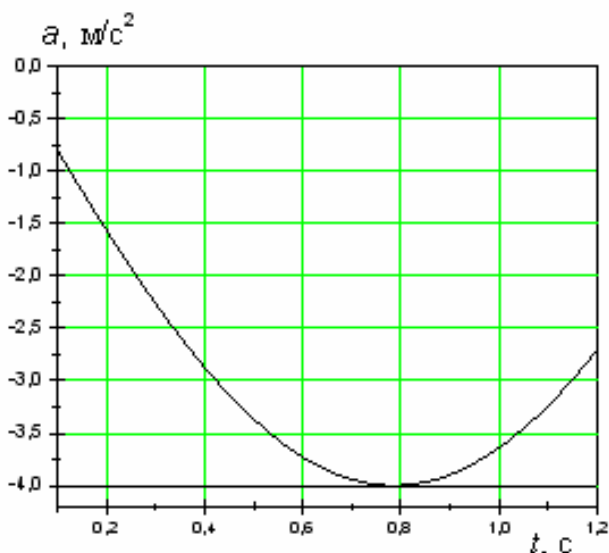
$$P = \frac{U_m I_m}{2} \cos \varphi = I_{\text{д}} U_{\text{д}} \cos \varphi.$$



## Тестовые задания

17.1. На рисунках изображены зависимости от времени скорости и ускорения материальной точки, колеблющейся по гармоническому закону.

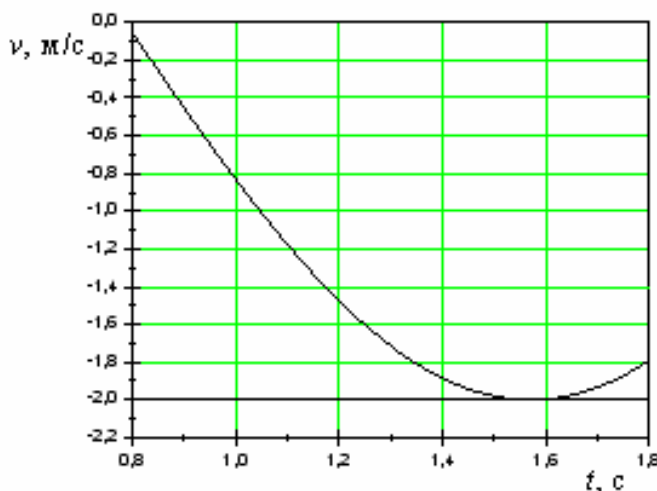
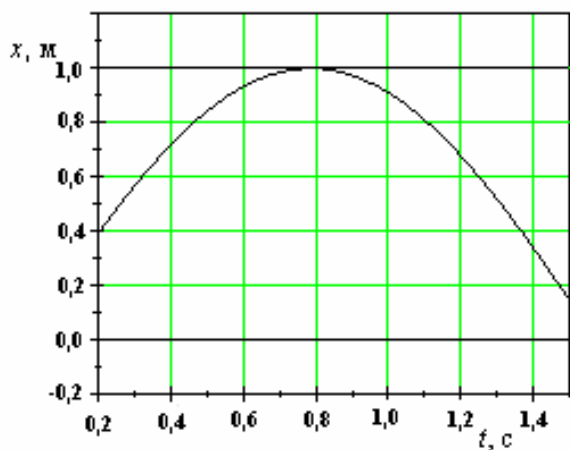
Циклическая частота колебаний равна...



- 1)  $1 \text{ c}^{-1}$ ;      2)  $2 \text{ c}^{-1}$ ;      3)  $3 \text{ c}^{-1}$ ;      4)  $4 \text{ c}^{-1}$

17.2. На рисунках изображены зависимости от времени координаты и скорости материальной точки, колеблющейся по гармоническому закону.

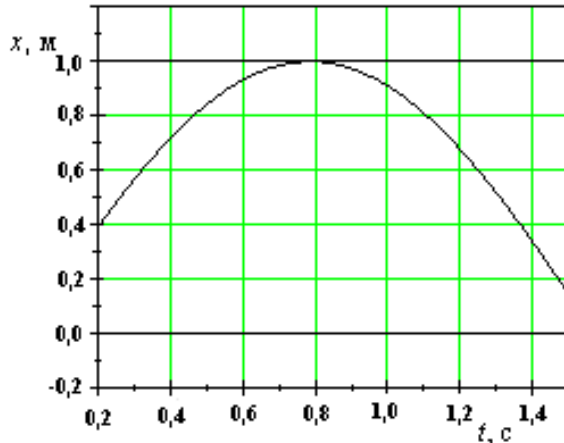
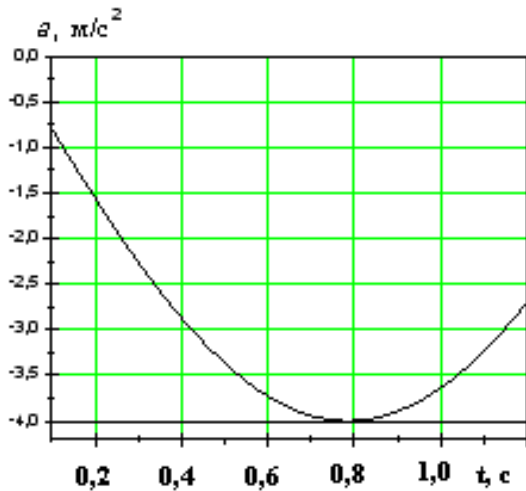
Циклическая частота колебаний равна...



- 1)  $1 \text{ c}^{-1}$ ;      2)  $2 \text{ c}^{-1}$ ;      3)  $3 \text{ c}^{-1}$ ;      4)  $4 \text{ c}^{-1}$ .

17.3. На рисунках изображены зависимости от времени координаты и ускорения материальной точки, колеблющейся по гармоническому закону.

Циклическая частота колебаний равна...



- 1)  $1 \text{ с}^{-1}$ ;      2)  $2 \text{ с}^{-1}$ ;      3)  $3 \text{ с}^{-1}$ ;      4)  $4 \text{ с}^{-1}$ .

17.4. Материальная точка совершает гармонические колебания с амплитудой  $A = 4 \text{ см}$  и периодом  $T = 2 \text{ с}$ . Если смещение точки в момент времени, принятый за начальный, равно нулю, то точка колеблется в соответствии с уравнением (в СИ)...

- 1)  $x = 0,04 \sin 2t$ ;      2)  $x = 0,04 \cos \pi t$ ;  
3)  $x = 0,04 \sin \pi t$ ;      4)  $x = 0,04 \cos 2t$ .

17.5. Материальная точка совершает гармонические колебания по закону  $x = 0,9 \cos\left(\frac{2\pi}{3}t + \frac{\pi}{4}\right)$ . Максимальное значение ускорения точки равно...

- 1)  $0,6\pi \text{ м/с}^2$ ;      2)  $\frac{2}{3}\pi \text{ м/с}^2$ ;  
3)  $4\pi^2 \text{ м/с}^2$ ;      4)  $0,4\pi^2 \text{ м/с}^2$ .

17.6. Материальная точка совершает гармонические колебания по закону  $x = 0,3 \cos\left(\frac{2\pi}{3}t + \frac{\pi}{4}\right)$ . Уравнение изменения скорости точки имеет вид...

- 1)  $v = 0,3 \sin\left(\frac{2\pi}{3}t + \frac{\pi}{4}\right)$ ;      2)  $v = -0,2\pi \sin\left(\frac{2\pi}{3}t - \frac{\pi}{4}\right)$ ;  
3)  $v = 0,2\pi \sin\left(\frac{2\pi}{3}t + \frac{\pi}{4}\right)$ ;      4)  $v = -0,2\pi \sin\left(\frac{2\pi}{3}t + \frac{\pi}{4}\right)$ .

17.7. Материальная точка совершает гармонические колебания по закону  $x = 0,3 \cos\left(\frac{2\pi}{3}t + \frac{\pi}{4}\right)$ . Максимальное значение скорости точки равно...

- 1)  $2\pi$  м/с;      2)  $0,2\pi$  м/с;      3)  $0,1\pi$  м/с;      4)  $\pi$  м/с.

17.8. Если массу груза увеличить в 4 раза, то период колебаний математического маятника ...

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

17.9. Уравнение движения пружинного маятника

$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = 0$  является дифференциальным уравнением ...

- 1) вынужденных колебаний;  
2) свободных затухающих колебаний;  
3) свободных незатухающих колебаний.

17.10. Уравнение движения пружинного маятника

$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t$  является дифференциальным уравнением ...

- 1) вынужденных колебаний;  
2) свободных затухающих колебаний;  
3) свободных незатухающих колебаний.

17.11. Маятник совершает вынужденные колебания со слабым коэффициентом затухания ( $\beta \ll \omega_0$ ), которые подчиняются дифференциальному уравнению

$\frac{d^2x}{dt^2} + 0,5 \frac{dx}{dt} + 900x = 0,1 \cos 150t$ . Амплитуда колебаний будет максимальна, если частоту вынуждающей силы уменьшить в...

- 1) 2 раза;      2) 5 раз;      3) 9 раз;      4) 10 раз.

17.12. Пружинный маятник с жесткостью пружины  $k = 90$  Н/м совершает вынужденные колебания со слабым коэффициентом затухания ( $\beta \ll \omega_0$ ), которые подчиняются дифференциальному уравнению

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 0,5 \frac{dx}{dt} + 900x = 0,1 \cos 10t.$$

Амплитуда колебаний будет

максимальна, если массу груза увеличить в...

- 1) 2 раза;            2) 5 раз;            3) 9 раз;            4) 10 раз.

17.13. Маятник совершает колебания, которые подчиняются дифференциальному уравнению

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 0,5 \frac{dx}{dt} + 900x = 0.$$

Время релаксации равно...

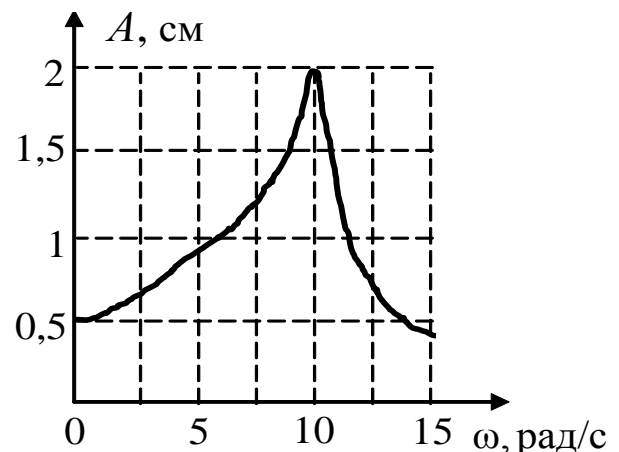
- 1) 2 с;            2) 4 с;            3) 0,5 с;            4) 1 с.

17.14. Свободные затухающие колебания заряда конденсатора в колебательном контуре описываются уравнением...

- 1)  $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0$ ;
- 2)  $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC}q = \frac{U_0}{L} \cos \omega t$ ;
- 3)  $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC}q = 0$ .

17.15. На рисунке представлена зависимость амплитуды вынужденных колебаний груза массой 0,1 кг на пружине от частоты внешней силы. При малом затухании коэффициент жесткости пружины равен...

- 1) 10 Н/м;  
2) 100 Н/м;  
3) 1 Н/м;  
4) 1000 Н/м.



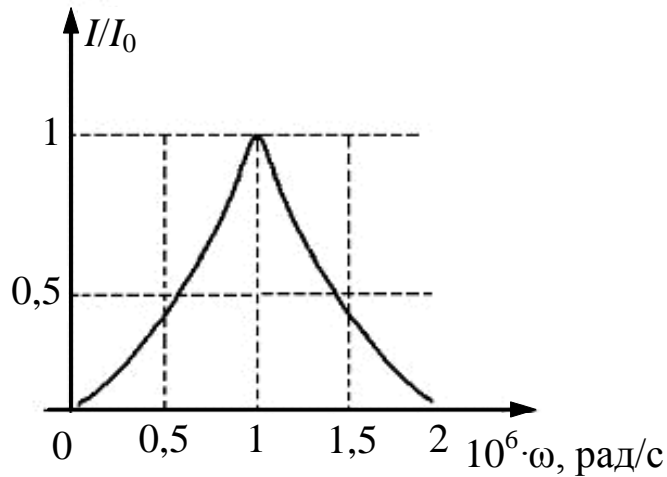
17.16. На рисунке теста 17.15 представлена зависимость амплитуды вынужденных колебаний груза на пружине жесткостью 10 Н/м от частоты внешней силы. При малом затухании масса груза равна...

- 1) 1 кг;            2) 0,1 кг;            3) 0,01 кг;            4) 10 кг.



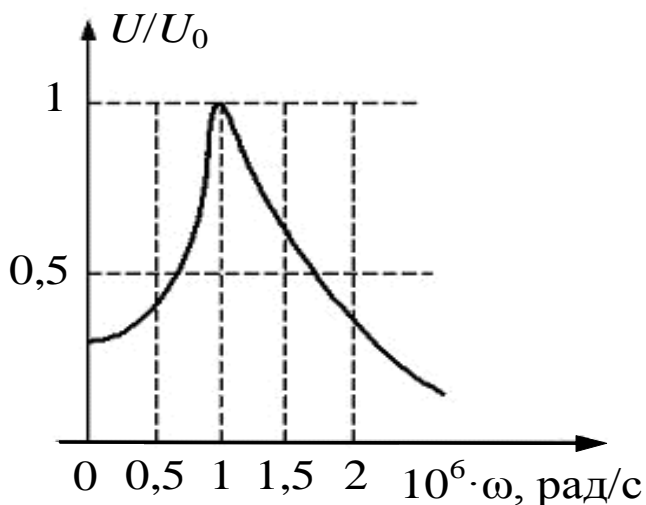
17.17. На рисунке теста 17.15 представлена зависимость амплитуды вынужденных колебаний математического маятника от частоты внешней силы при слабом затухании. Длина нити маятника равна...

- 1) 1 см;                      2) 1 м;                      3) 10 см;                      4) 20 см.



17.18. На рисунке представлена зависимость относительной амплитуды вынужденных колебаний силы тока в катушке  $L = 1$  мГн, включенной в колебательный контур. Емкость конденсатора равна...

- 1) 1 нф;  
2) 100 нф;  
3) 10 нф;  
4) 0,1 нф.



17.19. На рисунке представлена зависимость относительной амплитуды вынужденных колебаний напряжения на конденсаторе  $C = 1$  нф, включенного в колебательный контур. Индуктивность катушки равна...

- 1) 1 мГн;  
2) 100 мГн;  
3) 10 мГн;  
4) 0,1 мГн.

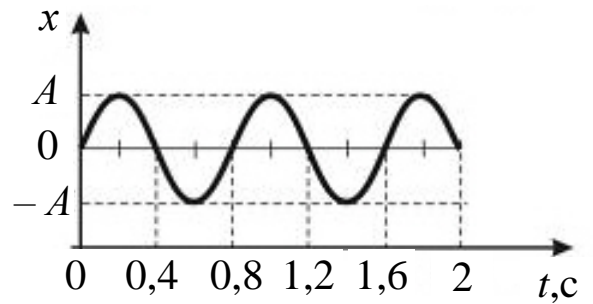
17.20. В колебательном контуре, состоящем из катушки  $L = 10$  Гн, конденсатора  $C = 10$  мкФ и сопротивления  $R = 5$  Ом, время релаксации равно...

- 1) 5 мс;                      2) 2 с;                      3) 0,05 с;                      4) 4 с.

17.21. Колебательный контур состоит из катушки  $L = 10$  Гн, конденсатора  $C = 10$  мкФ и сопротивления  $R = 5$  Ом. Добротность контура равна...

- 1) 200;                      2) 2000;                      3) 20;                      4) 500.

17.22. Свободные гармонические колебания маятника описываются графиком, представленным на рисунке. На маятник начинает действовать периодически изменяющаяся вынуждающая сила. Колебания войдут в резонанс при частоте вынуждающей силы ...

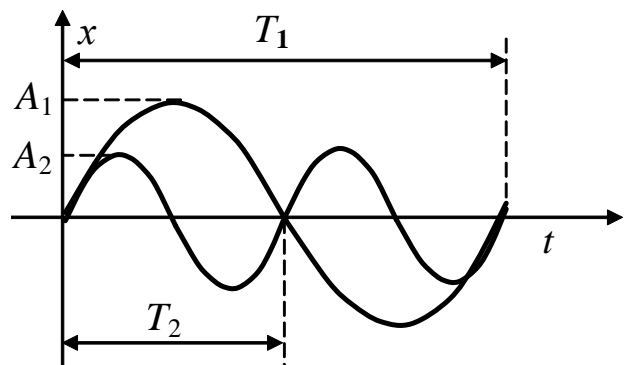


- 1) 1,25 Гц;      2) 0,8 Гц;      3) 2,5 Гц;      4) 3,75 Гц.

17.23. Если при неизменном сопротивлении  $R$  в колебательном контуре увеличить в 2 раза индуктивность катушки  $L$ , то время релаксации...

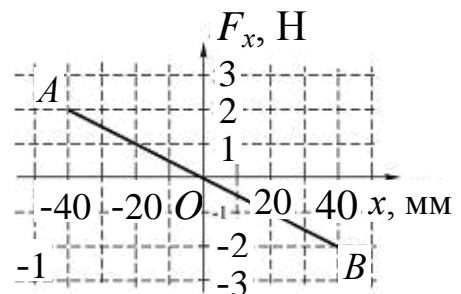
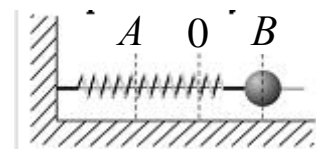
- 1) уменьшится в 4 раза;      2) уменьшится в 2 раза;  
3) увеличится в 4 раза;      4) увеличится в 2 раза.

17.24. Графики колебаний двух материальных точек одинаковой массы показаны на рисунке. Соотношение энергий...



- 1)  $W_1 = W_2$ ;  
2)  $W_1 > W_2$ ;  
3)  $W_1 < W_2$ .

17.25. Шарик, прикрепленный к пружине и насаженный на горизонтальную направляющую, совершает гармонические колебания. На графике представлена зависимость проекции силы упругости пружины на положительное направление оси  $Ox$  от координаты шарика.



Работа силы упругости при смещении шарика из положения  $O$  в положение  $B$  составляет...

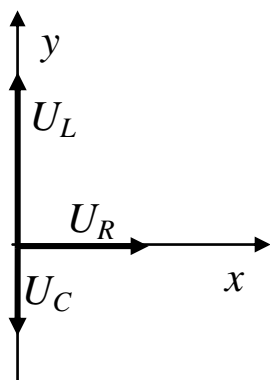
- 1) 0 Дж;      2)  $-4 \cdot 10^{-2}$  Дж;  
3)  $4 \cdot 10^{-2}$  Дж;      4)  $8 \cdot 10^{-2}$  Дж.

17.26. Для условия теста 17.25 работа силы упругости при смещении шарика по траектории  $A-B-O$  составляет...

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

17.27. Для условия теста 17.25 работа силы упругости при смещении шарика по траектории  $B-A-O$  составляет...

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



17.28. Резистор, катушка индуктивности и конденсатор соединены последовательно и подключены к источнику переменного напряжения, изменяющегося по закону  $U = U_0 \cos \omega t$  (В). На рисунке представлена фазовая диаграмма падений напряжений на указанных элементах. Установите соответствие между амплитудными значениями напряжений на этих элементах и амплитудным значением напряжения источника.

1.  $U_R = 4$  В;  $U_L = 5$  В;  $U_C = 2$  В;
2.  $U_R = 2$  В;  $U_L = 1$  В;  $U_C = 2$  В;

- А) 5 В;      Б)  $\sqrt{5}$  В;      В) 11 В.

17.29. Резистор, катушка индуктивности и конденсатор соединены последовательно и включены в цепь переменного тока, изменяющегося по закону  $I = 0,1 \cos(3,14t)$  (А). На рисунке предыдущего теста представлена фазовая диаграмма падений напряжений на указанных элементах. Амплитудные значения напряжений равны: на сопротивлении  $U_R = 4$  В; на катушке индуктивности  $U_L = 5$  В; на конденсаторе  $U_C = 2$  В.

Установите соответствие между сопротивлением и его численным значением.

1	Активное сопротивление
2	Полное сопротивление
3	Емкостное сопротивление
4	Реактивное сопротивление

А	40 Ом
Б	30 Ом
В	50 Ом
Г	20 Ом

- 1) 1 – А; 2 – В; 3 – Г; 4 – Б;      2) 1 – Г; 2 – Б; 3 – А; 4 – В;  
 3) 1 – Б; 2 – Г; 3 – В; 4 – А;      4) 1 – В; 2 – А; 3 – Б; 4 – Г.

17.30. Резистор сопротивлением  $R = 25 \text{ Ом}$ , катушка индуктивностью  $L = 30 \text{ мГн}$  и конденсатор с емкостью  $C = 12 \text{ мкФ}$  соединены последовательно и подключены к источнику переменного напряжения, изменяющегося по закону  $U = 127 \cos(3140 t) \text{ (В)}$ .

Установите соответствие между элементом цепи и эффективным значением напряжения на нем.

1	Сопротивление
2	Катушка индуктивности
3	Конденсатор
4	

А	33,5 В
Б	85,5 В
В	118,5 В
Г	31,5 В

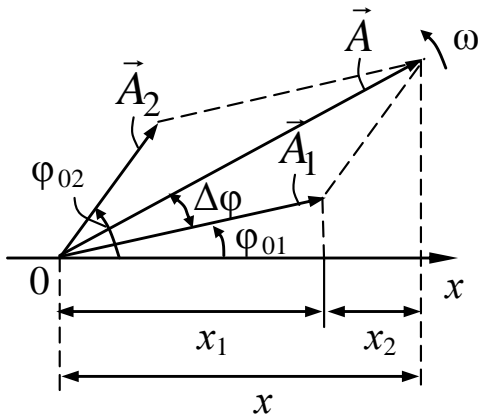
1) 1 – Б; 2 – В; 3 – А;

2) 1 – Г; 2 – В; 3 – А;

3) 1 – В; 2 – А; 3 – Б;

4) 1 – А; 2 – В; 3 – Г.

## 18. Сложение гармонических колебаний



• **Сложение однонаправленных колебаний.**

а)  $\omega_1 = \omega_2 = \omega$  (одинаковые частоты):

$$x_1 = A_1 \cdot \cos(\omega t + \varphi_{01});$$

$$x_2 = A_2 \cdot \cos(\omega t + \varphi_{02}),$$

где  $A_1, A_2, \varphi_{01}, \varphi_{02}$  – амплитуды и начальные фазы складываемых колебаний.

Результирующее колебание:

$$x = x_1 + x_2 = A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где  $A$  – амплитуда (определяется по теореме косинусов);

$\varphi_0$  – начальная фаза.

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos \Delta\varphi},$$

где  $\Delta\varphi = (\varphi_{02} - \varphi_{01})$  – разность фаз;

$$\varphi_0 = \operatorname{arctg} \frac{A_1 \cdot \sin(\varphi_{01}) + A_2 \cdot \sin(\varphi_{02})}{A_1 \cdot \cos(\varphi_{01}) + A_2 \cdot \cos(\varphi_{02})}.$$

Амплитуда результирующего колебания зависит от *разности фаз* складываемых колебаний:

1) если  $\Delta\varphi = \pm 2k\pi$ , то  $A = A_1 + A_2$ ;

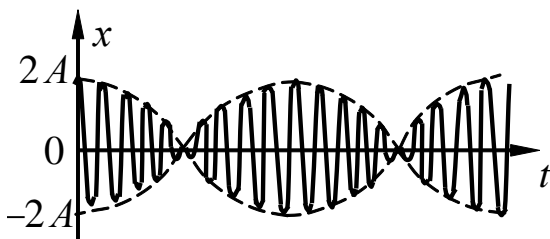
2) если  $\Delta\varphi = \pm(2k + 1)\pi$ , то  $A = |A_1 - A_2|$ ,

где  $k = 0, 1, 2, \dots$  – целое число.

**Соотношения между разностью фаз складываемых колебаний с одинаковыми амплитудами и амплитудой результирующего колебания**

$\Delta\varphi$	$0^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	$120^\circ$	$180^\circ$	$270^\circ$
$A$	$2A$	$A\sqrt{3}$	$A\sqrt{2}$	$A$	$0$	$A\sqrt{2}$

б)  $\omega_1 \approx \omega_2 \approx \omega, \Delta\omega \ll \omega$  (близкие частоты):



$$x_1 = A \cdot \cos(\omega t);$$

$$x_2 = A \cdot \cos(\omega + \Delta\omega)t.$$

Результат сложения – *биения*:

$$x = x_1 + x_2 = (2A \cdot \cos \frac{\Delta\omega}{2} t) \cdot \cos \omega t.$$

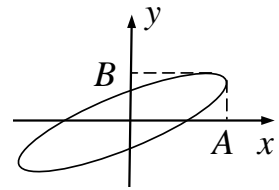
• **Сложение взаимно перпендикулярных колебаний.**

а)  $\omega_1 = \omega_2 = \omega$  (одинаковые частоты):

$$x = A \cdot \cos(\omega t); \quad y = B \cdot \cos(\omega t + \varphi).$$

Уравнение траектории результирующего колебания (уравнение эллипса с произвольно ориентированными осями):

$$\frac{x^2}{A^2} - \frac{2xy}{AB} \cdot \cos \varphi + \frac{y^2}{B^2} = \sin^2 \varphi.$$

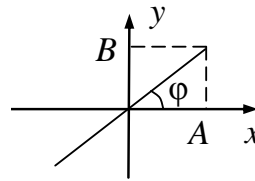


Траектория результирующего колебания зависит от разности фаз складываемых колебаний:

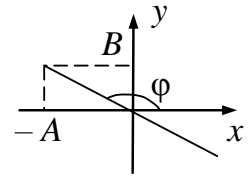
1) если  $\Delta\varphi = \pm 2k \frac{\pi}{2}$ , то результат

сложения – отрезок прямой:

$$y = \pm \frac{B}{A} x;$$



$$k = 0, 2, 4, \dots$$

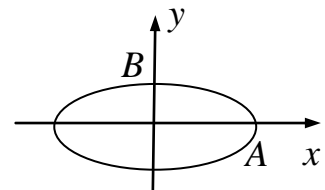


$$k = 1, 3, 5, \dots$$

2) если  $\Delta\varphi = \pm(2k+1) \frac{\pi}{2}$ , то результат сложения – эллипс, оси которого ориентированы вдоль координатных осей:

Уравнение эллипса:  $\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1;$

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1;$$



3) если  $A = B$ , то траектория – окружность.

б)  $\omega_1 \neq \omega_2$  (разные частоты):

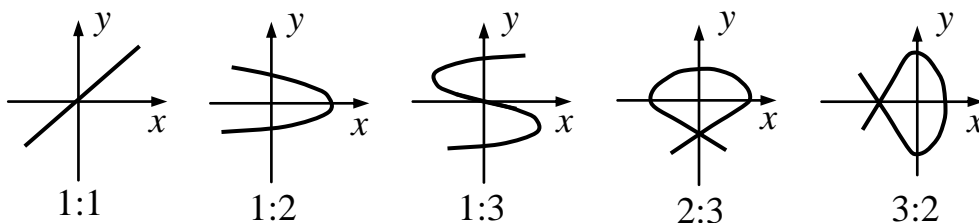
$$x = A \cdot \cos(p\omega t); \quad y = B \cdot \cos(q\omega t + \varphi),$$

где  $p$  и  $q$  – целые числа.

Результат сложения – фигуры Лиссажу, форма которых зависит от соотношения амплитуд, частот и разности фаз складываемых колебаний.

Отношение частот ( $p/q$ ) равно отношению числа пересечений фигур Лиссажу с прямыми, параллельными осям координат. На рисунке показан вид фигур Лиссажу для  $\Delta\varphi = 0$  при различных соотношениях  $p/q$ .

$$\Delta\varphi = 0$$



## Тестовые задания

18.1. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами и равными амплитудами  $A_0$ . При разности фаз  $\Delta\varphi = \frac{3\pi}{2}$  амплитуда результирующего колебания равна...

- 1)  $(5/2)A_0$ ;      2)  $2A_0$ ;      3) 0;      4)  $\sqrt{2}A_0$ .

18.2. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами и равными амплитудами  $A_0$ . При разности фаз  $\Delta\varphi = 0$  амплитуда результирующего колебания равна...

- 1)  $(5/2)A_0$ ;      2)  $2A_0$ ;      3) 0;      4)  $\sqrt{2}A_0$ .

18.3. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами и равными амплитудами  $A_0$ . При разности фаз  $\Delta\varphi = \pi$  амплитуда результирующего колебания равна...

- 1)  $\sqrt{3}A_0$ ;      2)  $2A_0$ ;      3) 0;      4)  $\sqrt{2}A_0$ .

18.4. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами. Амплитуда результирующего колебания минимальна при разности фаз складываемых колебаний...

- 1) кратной четному числу  $\pi$ ;      2) равной 0;  
3) кратной нечетному числу  $\pi$ .

18.5. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами. Амплитуда результирующего колебания максимальна при разности фаз складываемых колебаний равной...

- 1) 0;      2)  $\pi$ ;      3)  $\pi/2$ ;      4)  $\pi/4$ .

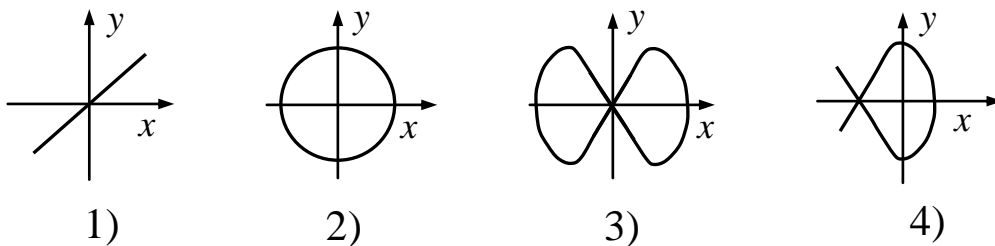
18.6. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми частотами и равными амплитудами  $A_0$ . При разности фаз  $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$  амплитуда результирующего колебания равна...

- 1)  $A_0\sqrt{3}$ ;      2)  $2A_0$ ;      3) 0;      4)  $A_0\sqrt{2}$ .

18.7. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми частотами и равными амплитудами  $A_0$ . Установите соответствие между амплитудой результирующего колебания и разностью фаз складываемых колебаний.

- А.**  $A_0\sqrt{2}$ ;      **Б.** 0;      **В.**  $A_0$ ;      **Г.**  $A_0\sqrt{3}$ ;  
 1)  $\pi$ ;      2)  $\pi/3$ ;      3)  $2\pi/3$ ;      4)  $\pi/2$ .

18.8. Точка  $M$  одновременно колеблется по гармоническому закону вдоль осей координат  $OX$  и  $OY$  с одинаковыми амплитудами и разностью фаз  $\pi/2$ . При соотношении частот 3:2 траектория имеет вид...



18.9. Складываются два взаимно перпендикулярных колебания. Установите соответствие между законами колебания точки  $M$  вдоль осей координат  $OX$  и  $OY$  и формой её траектории.

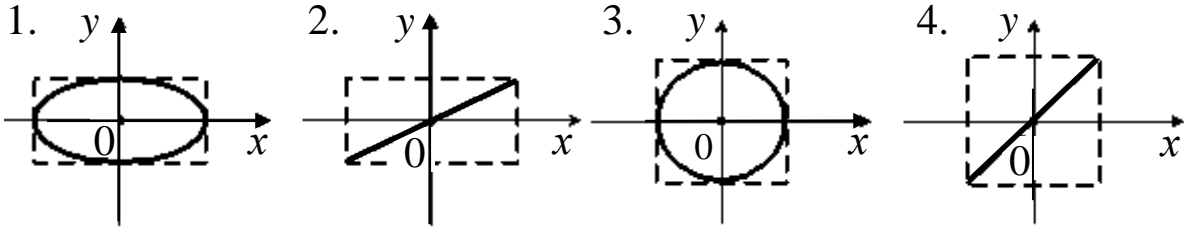
- А.**  $\begin{cases} x = A_1 \sin(\omega t); \\ y = A_2 \sin(\omega t + \pi); \end{cases}$       **Б.**  $\begin{cases} x = A_1 \sin(\omega t); \\ y = A_2 \sin(\omega t + \pi/2); \end{cases}$   
**В.**  $\begin{cases} x = A_1 \sin(\omega t); \\ y = A_2 \sin(2\omega t + \pi/2); \end{cases}$

- 1) прямая;      2) эллипс;      3) Лиссажу;      4) синусоида.



18.10. Складываются два взаимно перпендикулярных колебания. Установите соответствие между номером соответствующей траектории и законами колебаний точки  $M$  вдоль осей координат  $OX$ ,  $OY$ .

Укажите соответствие для каждого нумерованного элемента задания.



**A.** 
$$\begin{cases} x = A_1 \sin(\omega t); \\ y = A_2 \sin(\omega t); \end{cases}$$

**C.** 
$$\begin{cases} x = A_1 \sin(\omega t); \\ y = A_2 \sin(\omega t + \pi); \end{cases}$$

**E.** 
$$\begin{cases} x = A \sin(\omega t); \\ y = A \sin\left(\omega t + \frac{3\pi}{2}\right). \end{cases}$$

**B.** 
$$\begin{cases} x = A_1 \sin(\omega t); \\ y = A_2 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right); \end{cases}$$

**D.** 
$$\begin{cases} x = A \sin(\omega t); \\ y = A \sin(\omega t); \end{cases}$$

1) 1 – B; 2– A; 3 – E; 4 –D;

2) 1 – A; 2– B; 3 – C; 4 –E;

3) 1 – D; 2– E; 3 – A; 4 –.B;

4) 1 – B; 2– C; 3 – E; 4 –D.

18.11. Складываются два взаимно перпендикулярных колебания. Установите соответствие между законами колебания точки  $M$  вдоль осей координат  $OX$  и  $OY$  и формой её траектории.

1. Прямая.

2. Окружность.

3. Фигура Лиссажу.

**A.** 
$$\begin{cases} x = A_1 \sin(\omega t); \\ y = A_2 \sin(\omega t + \pi); \end{cases}$$

**B.** 
$$\begin{cases} x = A_1 \sin(\omega t); \\ y = A_2 \cos(\omega t); \end{cases}$$

**C.** 
$$\begin{cases} x = A_1 \cos(3\omega t); \\ y = A_2 \cos(4\omega t + \pi/2); \end{cases}$$

**D.** 
$$\begin{cases} x = A_1 \sin(\omega t); \\ y = A_2 \sin(\omega t + \pi/2); \end{cases}$$

1) 1 – A; 2– B; 3 – D;

2) 1 – A; 2– B; 3 – C;

3) 1 – D; 2– C; 3 – A;

4) 1 – B; 2– C; 3 – D.

## 19. Волны. Уравнение волны

- **Волна** – процесс распространения колебаний в сплошной среде. При распространении волны частицы среды не движутся вместе с волной, а колеблются около своих положений равновесия.

Основным свойством волн является перенос энергии без переноса массы вещества.

- **Упругие (механические) волны** – механические колебания, распространяющиеся в упругой среде.
- **Продольные волны** – волны, в которых частицы среды колеблются в направлении распространения волны. Могут распространяться в твердых телах, жидкостях и газах.
- **Поперечные волны** – волны, в которых частицы среды колеблются в плоскостях, перпендикулярных направлению распространения волны. Могут распространяться только в твердых телах.
- **Длина волны  $\lambda$**  – расстояние между ближайшими частицами, колеблющимися в одинаковой фазе, равна расстоянию, на которое распространяется волна за время, равное периоду колебаний  $T$ :

$$\lambda = vT,$$

где  $v$  – скорость распространения волны.

- **Скорость распространения волны:**

$$v = \lambda \nu = \frac{\lambda}{T},$$

где  $\nu$  – частота колебаний.

- **Волновое число (волновой вектор):**

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{vT} = \frac{\omega}{v},$$

где  $\omega$  – циклическая частота.

- **Волновая поверхность** – геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе.

- **Сферическая волна** – волна, волновые поверхности которой имеют вид концентрических сфер.

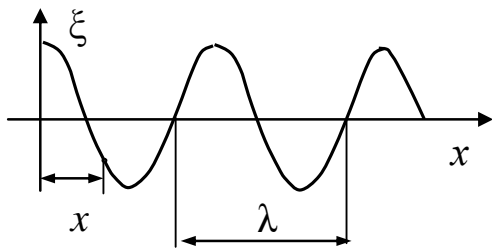
Уравнение сферической волны:

$$\xi(r, t) = \frac{A}{r} \cos(\omega t - kr),$$

где  $\xi(r, t)$  – смещение колеблющейся точки;

$A$  – амплитуда волны;

$r$  – расстояние от центра волны до заданной точки.



- **Плоская волна** – волна, волновые поверхности которой представляют совокупность плоскостей, параллельных друг другу.

Дифференциальное уравнение плоской волны (волновое уравнение):

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}.$$

Уравнение плоской бегущей волны:

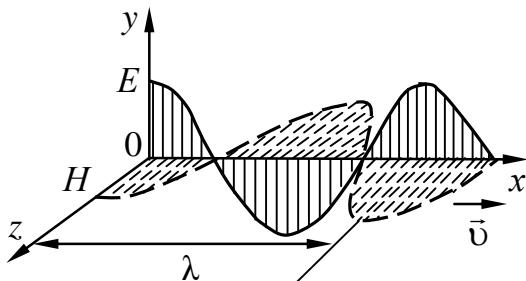
$$\xi(x, t) = A \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) = A \cos(\omega t - kx),$$

где  $x$  – расстояние от источника колебаний;

$\varphi = \omega \left( t - \frac{x}{v} \right)$  – фаза волны.

Разность фаз колебаний двух точек, находящихся на расстоянии  $\Delta x$  друг от друга:

$$\Delta \varphi = k \Delta x = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x.$$



- **Электромагнитные волны** – это распространяющиеся колебания электрического и магнитного полей (поперечные).

Уравнения электромагнитной волны:

$$E_y = E_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0);$$

$$H_z = H_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0),$$

где  $E_0$ ,  $H_0$  – амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей;  $\varphi_0$  – начальная фаза.

Скорость распространения электромагнитных волн в диэлектрике:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}},$$

где  $\varepsilon$  и  $\mu$  – диэлектрическая и магнитная проницаемости среды;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная.

• **Показатель преломления среды:**

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_B}{\lambda_c},$$

где  $c$  – скорость распространения электромагнитной волны в вакууме (воздухе);

$\lambda_B, \lambda_c$  – длина электромагнитной волны в вакууме (воздухе) и в произвольной среде.

При переходе из одной среды в другую частота и период не изменяются.

• **Фазовая скорость  $v$**  – скорость распространения фазы волны:

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k}.$$

• **Групповая скорость  $u$**  – скорость движения группы волн, образующих в каждый момент времени локализованный в пространстве волновой пакет:

$$u = \frac{d\omega}{dk} = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda}.$$

## Тестовые задания

19.1. Звуковая волна распространяется в воздухе от источника колебаний. При увеличении частоты колебаний источника  $\nu$  в 2 раза...

- 1) длина волны  $\lambda$  и скорость распространения волны  $v$  уменьшатся в 2 раза;
- 2) длина волны  $\lambda$  уменьшится в 2 раза, а скорость распространения волны  $v$  не изменится;
- 3) длина волны  $\lambda$  и скорость распространения волны  $v$  не изменятся;
- 4) длина волны  $\lambda$  уменьшится в 2 раза, а скорость распространения волны  $v$  увеличится в 2 раза.

19.2. В газовой среде распространяются...

- 1) только поперечные волны;
- 2) только продольные волны;
- 3) продольные и поперечные волны.

19.3. В твердых телах распространяются...

- 1) только поперечные волны;
- 2) только продольные волны;
- 3) продольные и поперечные волны.

19.4. Волну, в которой колебания происходят вдоль линии перемещения волны, называют ...

- 1) световой;
- 2) электромагнитной
- 3) поперечной;
- 4) стоячей;
- 5) продольной.

19.5. Для сферической волны справедливо утверждение...

- 1) волновые поверхности имеют вид параллельных друг другу плоскостей;
- 2) амплитуда волны обратно пропорциональна расстоянию до источника колебаний (в непоглощающей среде);
- 3) амплитуда волны не зависит от расстояния до источника колебаний (при условии, что поглощением среды можно пренебречь).

19.6. Световые волны в вакууме являются...

- 1) поперечными;
- 2) продольными;
- 3) упругими;
- 4) волнами, скорость распространения которых в веществе больше, чем в вакууме.

19.7. Продольными волнами являются...

- 1) звуковые волны в воздухе;
- 2) световые волны в вакууме;
- 3) волны, распространяющиеся вдоль струн музыкальных инструментов;
- 4) радиоволны.

19.8. Для интерференции двух волн необходимы и достаточны...

- 1) постоянная для каждой точки разность фаз и одинаковое направление колебаний;
- 2) одинаковая частота и одинаковое направление колебаний;
- 3) одинаковая амплитуда и одинаковая частота колебаний.
- 4) постоянная разность фаз и одинаковая частота колебаний.

19.9. Для плоской волны справедливо утверждение:

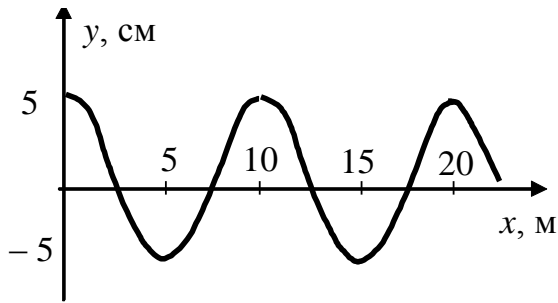
- 1) амплитуда волны обратно пропорциональна расстоянию до источника колебаний (в непоглощающей среде);
- 2) волновые поверхности имеют вид концентрических сфер;
- 3) амплитуда волны не зависит от расстояния до источника колебаний (при условии, что поглощением среды можно пренебречь).

19.10. Для продольной волны справедливо утверждение...

- 1) частицы среды колеблются в направлениях, перпендикулярных направлению распространения волны;
- 2) возникновение волны связано с деформацией сдвига;
- 3) частицы среды колеблются в направлении распространения волны.

19.11. Уравнение бегущей вдоль оси  $x$  волны имеет вид:...

- 1)  $\xi = 2A \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \cos(\omega t);$
- 2)  $\xi = A \cos \cos(\omega t + \varphi);$
- 3)  $\xi = A \cos\left\{2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right\};$
- 4)  $\xi = A \cos\left\{\omega\left(t - \frac{x}{\lambda}\right)\right\}.$



19.12. На рисунке представлен профиль поперечной бегущей волны, которая распространяется со скоростью 200 м/с. Амплитуда скорости колебаний точек среды равна...

- 1) 6,28 м/с;      2) 200 м/с;      3) 12,56 м/с;      4) 0,05 м/с.

19.13. Для рисунка теста 19.12 значение волнового числа равно...

- 1) 0,314;      2) 0,628;      3) 1,256;      4) 2,512.

19.14. На рисунке теста 19.12 представлен профиль поперечной бегущей волны, которая распространяется со скоростью 1000 м/с. Циклическая частота волны равна...

- 1) 628 рад/с;      2) 2512 рад/с;      3) 1256 рад/с;      4) 314 рад/с.

19.15. На рисунке теста 19.12 представлен профиль поперечной бегущей волны, частота которой равна 20 Гц. Скорость распространения волны равна...

- 1) 200 м/с;      2) 100 м/с;      3) 628 м/с;      4) 314 м/с.

19.16. Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси  $OX$ , имеет вид  $\xi = 0,01 \sin(10^3 t - 2x)$ . Тогда скорость распространения волны равна...

- 1) 500 м/с;      2) 2 м/с;      3) 1000 м/с;      4) 10 м/с.

19.17. Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси  $OX$ , со скоростью 500 м/с имеет вид  $\xi = 0,01 \sin(10^3 t - 2x)$ . Циклическая частота  $\omega$  равна...

- 1)  $1000 \text{ с}^{-1}$ ;      2)  $0,001 \text{ с}^{-1}$ ;      3)  $159 \text{ с}^{-1}$ ;      4)  $2 \text{ с}^{-1}$ .

19.18. Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси  $OX$ , имеет вид  $\xi = 0,01 \sin(10^3 t - 2x)$ . Укажите единицу измерения волнового числа...

- 1) м;      2) 1/м;      3) рад/м;      4) 1/с.

19.19. Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси  $OX$ , имеет вид  $\xi = 0,01 \sin(10^3 t - 2x)$ . Период равен...

- 1) 1 мс;      2) 6,28 мс;      3) 3,14 мс;      4) 1,5 мс.

19.20. Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси  $OX$ , имеет вид  $\xi = 0,01\sin(10^3 t - 2x)$ . Амплитуда ускорения колебания частиц среды равна...

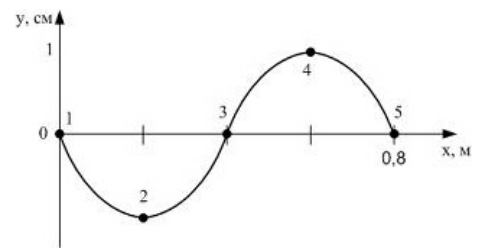
- 1)  $10^4 \text{ м/с}^2$ ;      2)  $10 \text{ м/с}^2$ ;      3)  $500 \text{ м/с}^2$ ;      4)  $5 \text{ м/с}^2$ .

19.21. Уравнение плоской синусоидальной волны, распространяющейся вдоль оси  $OX$  со скоростью  $500 \text{ м/с}$  имеет вид  $\xi = 0,01\sin(10^3 t - kx)$ . Волновое число  $k$  равно...

- 1) 0,5;      2) 2;      3) 5;      4) 10.

19.22. На закрепленной струне установилась стоячая волна. Ускорение равно нулю в точках струны...

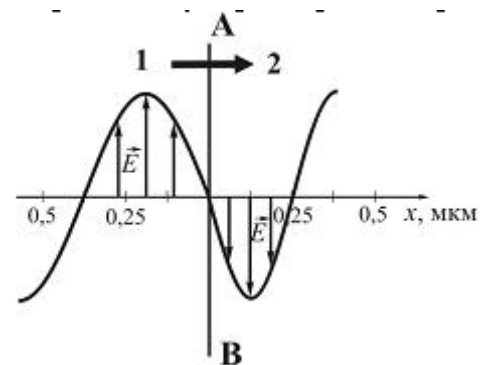
- 1) 3,4,5;      2) 1,3,5;  
3) 3,5;      4) 1,2,3;      5) 2,4.



19.23. На рисунке представлена фотография электрической составляющей электромагнитной волны, переходящей из среды 1 в среду 2 перпендикулярно границе раздела  $AB$ .

Относительный показатель преломления среды 2 относительно среды 1 равен...

- 1) 1,75;      2) 0,67;  
3) 1;      4) 1,5.



19.24. Из приведенных выражений уравнением сферической бегущей волны является...

- 1)  $\xi = \frac{A_0}{r} \cos(\omega t - kr)$ ;      2)  $\xi = 2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \cos \omega t$ ;  
3)  $\xi = A \cos(\omega t - kx)$ ;      4)  $\xi = A \cos(\omega t + \varphi_0)$ ;  
5)  $\xi = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$ .

19.25. Сейсмическая упругая волна, падающая под углом  $45^\circ$  на границу раздела между двумя слоями земной коры, испытывает преломление, причем угол преломления  $30^\circ$ . Во второй среде волна распространяется со скоростью  $4,0 \text{ км/с}$ . В первой среде скорость волны была равна...

- 1)  $5,6 \text{ км/с}$ ;      2)  $1,4 \text{ км/с}$ ;      3)  $7,8 \text{ км/с}$ ;      4)  $2,8 \text{ км/с}$ .



## 20. Энергия волны. Перенос энергии волной

- **Объемная плотность энергии электромагнитной волны:**

$$w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \varepsilon\varepsilon_0 E^2 = \mu\mu_0 H^2 = \sqrt{\varepsilon_0\mu_0} \sqrt{\varepsilon\mu} EH = \frac{EH}{v},$$

где  $\varepsilon$ ,  $\mu$  – диэлектрическая и магнитная проницаемости среды;  
 $E$ ,  $H$  – напряженность электрического и магнитного полей;  
 $v$  – скорость распространения электромагнитной волны в произвольной среде.

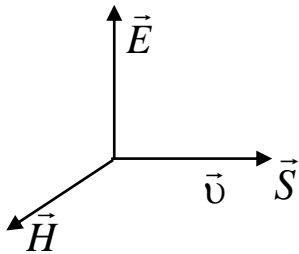
- **Средняя объемная плотность энергии:**

$$\langle w \rangle = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2,$$

где  $\rho$  – плотность среды;  
 $\omega$  – циклическая (круговая) частота;  
 $A$  – амплитуда волны.

- **Плотность потока энергии  $S$  (интенсивность волны  $I$ ):**

$$S = I = \langle w \rangle v = EH = \frac{1}{2} \rho \omega^2 v A^2.$$



- **Вектор УМОВА – ПОЙНТИНГА  $\vec{S}$  – вектор плотности потока электромагнитной энергии**, направлен в сторону распространения волны, а его модуль равен энергии, переносимой электромагнитной волной за единицу времени через единичную площадку перпендикулярно направлению распространения волны:

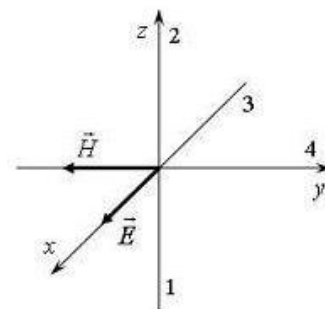
$$\vec{S} = [\vec{E} \times \vec{H}].$$

Векторы  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  и  $\vec{S}$  (или  $\vec{v}$ ) взаимно перпендикулярны и образуют правую тройку векторов.

Направление вектора  $\vec{S}$  определяется по правилу векторного произведения или правого винта.

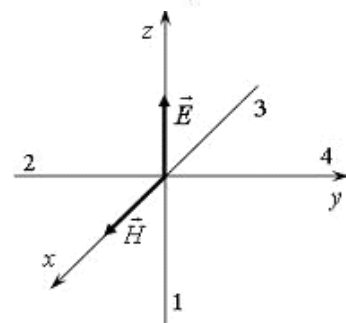
## Тестовые задания

20.1. На рисунке показана ориентация векторов напряженности электрического ( $E$ ) и магнитного ( $H$ ) полей в электромагнитной волне. Вектор плотности потока энергии ориентирован в направлении...



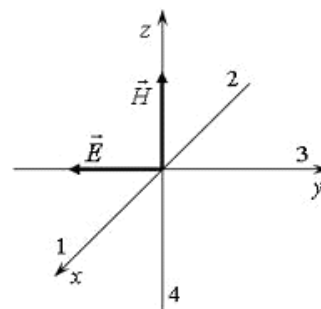
- 1) 3;                      2) 4;  
3) 1;                      4) 2.

20.2. Вектор плотности потока энергии электромагнитного поля ориентирован в направлении...



- 1) 3;                      2) 4;  
3) 1;                      4) 2.

20.3. На рисунке показана ориентация векторов напряженности электрического ( $E$ ) и магнитного ( $H$ ) полей в электромагнитной волне. Вектор плотности потока энергии электромагнитного поля ориентирован в направлении...



- 1) 3;                      2) 4;  
3) 1;                      4) 2.

20.4. Если увеличить в 2 раза объемную плотность энергии и при этом увеличить в 2 раза скорость распространения упругих волн, то плотность потока энергии...

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

20.5. Если увеличить в 2 раза объемную плотность световой энергии, то давление света...

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

20.6. При уменьшении в 2 раза амплитуды колебаний векторов напряженности электрического и магнитного полей плотность потока энергии...

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

20.7. Если уменьшить в 2 раза объемную плотность энергии при неизменной скорости распространения упругих волн, то плотность потока энергии...

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

20.8. Если в электромагнитной волне, распространяющейся в вакууме, значение напряженности электрического поля  $E = 600$  В/м, объемная плотность энергии  $\omega = 10^{-5}$  Дж/м<sup>3</sup>, то напряженность магнитного поля составляет...

- 1) 10 А/м;
- 2) 5 А/м;
- 3) 50 А/м;
- 4) 0,5 А/м.

20.9. Если в электромагнитной волне, распространяющейся в вакууме, значение напряженности магнитного поля  $H = 10$  А/м, объемная плотность энергии  $\omega = 10^{-5}$  Дж/м<sup>3</sup>, то напряженность электрического поля составляет...

- 1) 200 В/м;
- 2) 100 В/м;
- 3) 30 В/м;
- 4) 300 В/м.

20.10. Если увеличить в 2 раза амплитуду волны и при этом увеличить в 2 раза скорость распространения волны (например, при переходе из одной среды в другую), то плотность потока энергии увеличится в...

- 1) 2 раза;
- 2) 4 раза;
- 3) 16 раз;
- 4) 8 раз.

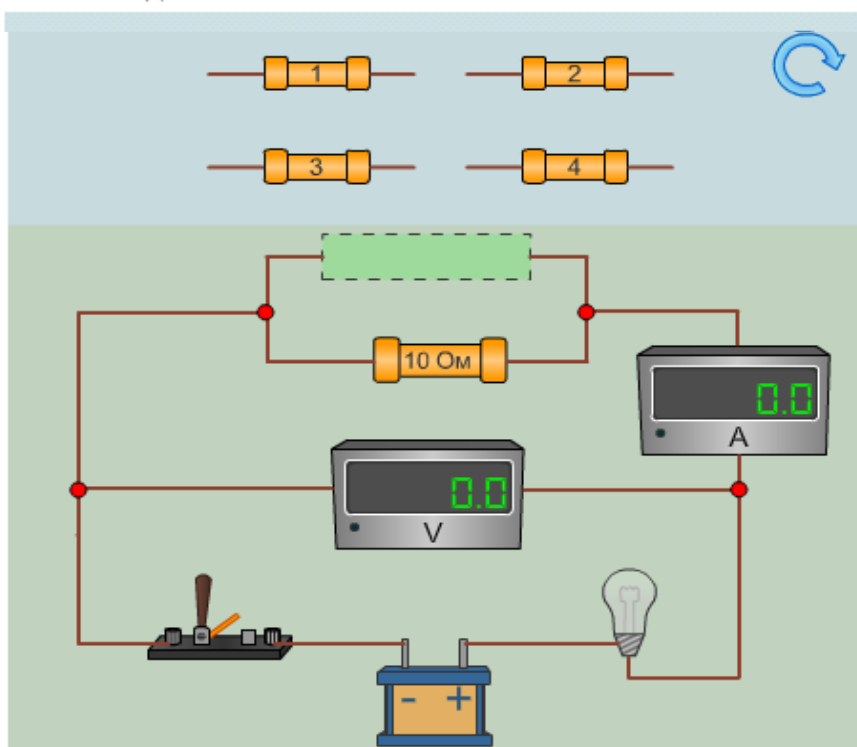
20.11. Если в электромагнитной волне, распространяющейся в среде с показателем преломления  $n = 2$ , значения напряженностей электрического и магнитного полей соответственно  $E = 750$  В/м,  $H = 2$  А/м, то объемная плотность энергии составляет...

- 1) 0,1 мкДж/м<sup>3</sup>;
- 2) 1 мкДж/м<sup>3</sup>;
- 3) 100 мкДж/м<sup>3</sup>;
- 4) 10 мкДж/м<sup>3</sup>.



## Пример кейс - задания

Для изучения законов постоянного тока предложена схема с известным сопротивлением  $R_0 = 10 \text{ Ом}$  и набором резисторов с неизвестными сопротивлениями. Внутренним сопротивлением источника тока, сопротивлением подводящих проводов и лампочки можно пренебречь. Измерительные приборы амперметр и вольтметр считать идеальными.



Сопротивлением  $40 \text{ Ом}$  обладает резистор под номером ...

Для того чтобы выполнить задание, студент должен с помощью мышки:

- взять один из резисторов и перенести его в место, обозначенное пунктиром;
- замкнуть ключ.

По цепи потечет постоянный ток, и приборы (амперметр и вольтметр) покажут значения тока в цепи и напряжения на резисторах. Применяв закон Ома и правило параллельного соединения резисторов, рассчитать неизвестное сопротивление. Так проделать с каждым резистором до тех пор, пока не найдется резистор с заданным сопротивлением.

Затем по известным формулам рассчитать другие заданные параметры (мощность, тепловую энергию).

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

*Богатин А. С.* Пособие для подготовки к ЕГЭ и централизованному тестированию по физике. Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. 480 с.

*Интернет – сайты:* <http://www.fepo.ru>, <http://www.i-fgos.ru>.

*Калашников Н. П., Кожевников Н. М.* Физика. Интернет–тестирование базовых знаний: учебное пособие. СПб.: Изд-во «Лань», 2009. 160 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ .....	0
11. Электростатическое поле в вакууме.....	3
Тестовые задания .....	10
12. Законы постоянного тока.....	15
Тестовые задания .....	17
13. Магнитостатика .....	22
Тестовые задания .....	28
14. Явление электромагнитной индукции .....	34
Тестовые задания .....	36
15. Электрическое и магнитное поле в веществе.....	42
Тестовые задания .....	45
16. Уравнения Максвелла .....	50
Тестовые задания .....	51
IV. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ.....	55
17. Свободные и вынужденные колебания.....	55
Тестовые задания .....	60
18. Сложение гармонических колебаний.....	68
Тестовые задания .....	70
19. Волны. Уравнение волны .....	73
Тестовые задания .....	76
20. Энергия волны. Перенос энергии волной.....	80
Тестовые задания .....	81
Пример кейс - задания.....	84
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	85

Учебное издание

Лидия Павловна Житова  
Сергей Авенирович Смольников  
Светлана Николаевна Шитова  
Марина Владиславовна Калачева

# ФИЗИКА

Часть 2

Электричество, магнетизм, колебания и волны

*Сборник тестов*

для подготовки к интернет-тестированию  
студентов всех направлений специалитета и бакалавриата

Редактор *Л. В. Устьянцева*  
Корректурa кафедры физики  
Компьютерная верстка авторов

Подписано в печать 17. 06. 2013 г. Бумага писчая. Формат 60 x 84 1/16.  
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.  
Печ. л. 5,5. Уч.-изд. л. 3,75. Тираж 300 экз. Заказ №

Издательство УГГУ  
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30  
Уральский государственный горный университет  
Отпечатано с оригинал-макета  
в лаборатории множительной техники УГГУ