

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский  
технологический университет»

В.В.Биктагиров  
Е.В.Яковлева

**Задания по физике для самостоятельной работы студентов.  
Часть 2.**

**Учебное пособие**

Нижекамск 2017

**УДК 53**  
**Б60**

Печатается по решению редакционно-издательского  
совета НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»

**Рецензенты:**

**Сагдеев А.А.**, кандидат технических наук  
**Насибуллина А.И.**, кандидат технических наук.

**Биктагиров В.В., Яковлева Е.В.**

Задания по физике для самостоятельной работы студентов: учебное пособие. Часть 2. / В.В.Биктагиров, Е.В.Яковлева. - Нижнекамск: НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ», 2017. - 92с.

В учебном пособии представлены основные формулы и задачи для самостоятельного решения для разделов физики «Электричество», «Магнетизм», «Оптика» и «Атомная и ядерная физика».

Предназначено для самостоятельной работы студентов первого и второго курсов всех форм обучения при освоении методов и приемов решения физических задач.

**УДК 53**

© Биктагиров В.В., Яковлева Е.В., 2017  
© НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ», 2017

## ВВЕДЕНИЕ

Успешное овладение курсом физики возможно только при условии решения задач. Это помогает уяснить физический смысл изучаемых явлений, закрепить в памяти формулы, получить навыки практического применения знаний и подготавливает к выполнению контрольных работ.

При решении задач рекомендуется придерживаться следующих правил:

- внимательно прочитать условие задачи и проанализировать, какая информация содержится в условии. Следует иметь в виду, что в условии задачи каждое слово несет информацию. Если условие задачи допускает несколько вариантов толкований, то следует выбрать простейший вариант, не противоречащий условию;
- переписать текст задачи, заполнить разделы «Дано» и «Найти». Все исходные и искомые данные обозначить общепринятыми символами.
- во избежание ошибок необходимо все параметры, относящиеся к одному и тому же состоянию или телу, обозначить одним и тем же индексом, например:  $q_1$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $q_2$ ,  $\varphi_1$ ,  $E_1$ ,  $r_1$ ;
- необходимо выполнить рисунок, иллюстрирующий условие. Обозначения физических величин на рисунке должны совпадать с обозначениями тех же величин в разделах «Дано» и «Найти»;
- выполнить анализ физических явлений, рассматриваемых в задаче. Определить законы, описывающие эти явления. Записать словесную формулировку и уравнения, выражающие законы в обозначениях, принятых в условии задачи. Пояснить буквенные обозначения в формулах. Если явление описывается векторными величинами, то после составления векторного уравнения необходимо выбрать систему координат и спроектировать величины, входящие в векторное уравнение, на выбранные оси. Составить систему скалярных уравнений, при этом число уравнений должно быть равно числу неизвестных;

- решить систему уравнений. Подставить в полученные выражения численные значения исходных величин в одной и той же системе единиц и вычислить результат;
- выполнить анализ полученного результата. Если результат противоречит условию задачи или законам природы, то задача решена неверно и необходимо начать все с начала;
- записать ответ.

Представление данных задачи в трех формах (текст, краткое условие, рисунок) позволяет более глубоко понять ее условие и суть процессов, поэтому являются обязательным.

### *Пример оформления задачи*

Заряд  $1 \text{ нКл}$  переносится из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии  $0,1 \text{ м}$  от поверхности металлической сферы радиусом  $0,1 \text{ м}$ , заряженной с поверхностной плотностью  $10^{-15} \text{ Кл/м}^2$ . Определить работу перемещения заряда.

*Дано:*

*Решение:*

$$q = 1 \cdot 10^{-9}$$

Кл

$$r = 0,1 \text{ м}$$

$$R = 0,1 \text{ м}$$

$$\sigma = 10^{-15}$$

Кл/м<sup>2</sup>

---

A- ?

Работа сил поля по перемещению заряда  $q$  из точки поля с потенциалом  $\varphi_1$  в точку с потенциалом  $\varphi_2$ :

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Потенциал на поверхности сферы:

$$\varphi_1 = \frac{q_c}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{\sigma 4\pi R^2}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{\sigma R}{\epsilon_0}$$

Потенциал сферы на расстоянии  $r$  :

$$\varphi_2 = \frac{q_c}{4\pi\varepsilon_o(R+r)} = \frac{\sigma 4\pi R^2}{4\pi\varepsilon_o(R+r)} = \frac{\sigma R^2}{\varepsilon_o(R+r)}$$

Окончательно получаем:

$$A = q \left( \frac{\sigma R}{\varepsilon_o} - \frac{\sigma R^2}{\varepsilon_o(R+r)} \right) = \frac{\sigma q R}{\varepsilon_o} \left( 1 - \frac{R}{R+1} \right)$$

Произведем вычисления:

$$A = \frac{10^{-15} \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 0,1}{8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \left( 1 - \frac{0,1}{0,1+0,1} \right) = 5,65 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$$

**Ответ:**

$$A = 5,65 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$$

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

## Электростатика

- Закон сохранения заряда:

$$\sum_{i=1}^N q_i = \text{const}, \text{ или } q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}$$

- Закон Кулона:

$$F_0 = k_0 \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2},$$

где  $F_0$  – сила взаимодействия двух точечных зарядов  $q_1$  и  $q_2$  в вакууме;  $r$  – расстояние между зарядами; коэффициент пропорциональности  $k_0 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ ; электрическая постоянная  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ .

- Диэлектрическая проницаемость среды:

$$\varepsilon = \frac{F_0}{F},$$

где  $F_0$  – сила взаимодействия зарядов в вакууме;  $F$  – сила взаимодействия зарядов в среде.

- Напряженность электрического поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0},$$

где  $F$  – сила действующая на точечный положительный заряд  $q_0$ .

- Напряженность электрического поля точечного заряда  $q$  на расстояние  $r$  от заряда:

$$E = k_0 \frac{q}{\varepsilon r^2},$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды; коэффициент пропорциональности  $k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ .

- Потенциал электростатического поля:

$$\varphi = \frac{W}{q_0} \text{ или } \varphi = \frac{A_\infty}{q_0},$$

где  $W$  – потенциальная энергия заряда  $q_0$ ;  $A_\infty$  – работа по перемещению заряда  $q_0$  из данной точки поля в бесконечность.

- Потенциал электрического поля точечного заряда на расстоянии  $r$  от заряда:

$$\varphi = k_0 \frac{q}{\varepsilon r},$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды; коэффициент пропорциональности  $k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ .

- Принцип суперпозиции электростатических полей:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i; \quad \varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i,$$

где  $E_i, \varphi_i$  – соответственно напряженность и потенциал поля, создаваемого зарядом  $q_i$ .

- Связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля:

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi, \quad \text{или} \quad \vec{E} = -\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{k}\right),$$

где  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные вектора координатных осей.

- Поток вектора напряженности через площадку  $dS$ :

$$d\Phi_E = E_n dS,$$

где  $E_n$  – составляющая вектора  $E$  по направлению нормали  $n$  к площадке.

- Поток вектора напряженности через произвольную поверхность  $S$ :

$$\Phi_E = \int_S E_n dS.$$

- Поток напряженности через сферическую поверхность  $S$  в центре которой имеется точечный заряд  $q$ :

$$\Phi_E = \frac{q}{\varepsilon \varepsilon_0},$$

где  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды.

- Линейная плотность заряда  $q$ , т.е. заряд, приходящийся на единицу длины:

$$\tau = \frac{dq}{dl}.$$

- Поверхностная плотность заряда, т.е. заряд, приходящийся на единицу поверхности:

$$\delta = \frac{dq}{dS}.$$

- Объемная плотность заряда, т.е. заряд, приходящийся на единицу объема:

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

- Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме:

$$\Phi_E = \oint_S E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i = \frac{1}{\varepsilon_0} \int_V \rho dV,$$

где  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная; алгебраическая сумма зарядов, заключенных внутри замкнутой поверхности  $S$ :

$$\sum_{i=1}^N q_i ;$$

$N$  – число зарядов;  $\rho$  – объемная плотность зарядов.

- Циркуляция вектора напряженности электростатического поля вдоль замкнутого контура:

$$\oint_L E dl = \int_L E_L dl = 0 ,$$

где  $E_L$  – проекция вектора  $E$  на направление элементарного перемещения  $dl$ . Интегрирование производится по любому замкнутому пути  $L$ .

- Работа сил электростатического поля при перемещении заряда  $q$  из точки 1 в точку 2:

$$A_{1,2} = q(\varphi_1 - \varphi_2) ,$$

где  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – потенциалы электростатического поля в точках 1 и 2.

- Электроемкость уединенного проводника:

$$C = \frac{q}{\varphi},$$

где  $q$  – заряд, сообщаемый проводнику,  $\varphi$  – потенциал проводника.

- Емкость плоского конденсатора:

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

где  $S$  – площадь каждой пластины конденсатора;  $d$  – расстояние между пластинами.

- Емкость цилиндрического конденсатора:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon l}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)},$$

где  $l$  – длина обкладок конденсатора;  $r_1$  и  $r_2$  – радиусы полых коаксиальных цилиндров.

- Емкость сферического конденсатора:

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1},$$

где  $r_1$  и  $r_2$  – радиусы концентрических сфер.

- Емкость системы конденсаторов при последовательном соединении:

$$\frac{1}{C_{\text{об}}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i},$$

где  $C_i$  – емкость  $i$ -го конденсатора;  $N$  – число конденсаторов.

- Емкость системы конденсаторов при параллельном соединении:

$$C_{\text{об}} = \sum_{i=1}^N C_i,$$

где  $C_i$  – емкость  $i$ -го конденсатора;  $N$  – число конденсаторов.

- Энергия электрического поля заряженного тела:

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

- Энергия поля плоского конденсатора:

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

где  $V$  – объем конденсатора;  $E$  – напряженность электростатического поля.

- Удельная энергия электрического поля или объемная плотность энергии:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}.$$

## Электродинамика

- Сила электрического тока:

$$I = \frac{dq}{dt},$$

где  $dq$  – количество электрического заряда, проходящего за время  $dt$  через поперечное сечение проводника.

- Плотность электрического тока:

$$j = \frac{I}{S},$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения проводника.

- Плотность тока в проводнике:

$$j = ne\vartheta,$$

где  $\vartheta$  – скорость упорядоченного движения зарядов в проводнике;  $n$  – концентрация зарядов.

- Электродвижущая сила, действующая вдоль всей цепи:

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q_0}, \text{ или } \varepsilon = \oint E_{\text{ст}} dl,$$

где  $q_0$  – единичный положительный заряд;  $A_{ст}$  – работа сторонних сил;  $E_{ст}$  – напряженность поля сторонних сил.

- Сопротивление проводника:

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

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление;  $S$  – площадь поперечного сечения проводника;  $l$  – длина проводника.

- Проводимость проводника:

$$G = \frac{1}{R},$$

где  $R$  – сопротивление проводника.

- Удельная электрическая проводимость вещества проводника:

$$\gamma = \frac{1}{\rho},$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление проводника.

- Общее сопротивление проводников при последовательном соединении:

$$R = \sum_{i=1}^N R_i,$$

где  $R_i$  – сопротивление  $i$ -го проводника;  $N$  – число проводников.

- Общее сопротивление проводников при параллельном соединении:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$

- Зависимость сопротивления проводника от температуры:

$$R = R_0(1 + \alpha t),$$

где  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.

- Закон Ома для участка цепи:

$$J = \frac{U}{R},$$

где  $J$  – сила тока, текущего по однородному металлическому проводнику;  $R$  – сопротивление участка цепи;  $U$  – напряжение на концах проводника (напряжение на участке цепи).

- Закон Ома для неоднородного участка цепи:

$$J = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{1,2}}{R},$$

где  $\varepsilon_{1,2}$  – ЭДС источников тока, входящих в участок; разность потенциалов на концах участка цепи ( $\varphi_1 - \varphi_2$ ).

- Закон Ома для замкнутой цепи:

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

где  $\varepsilon$  – ЭДС всех источников тока цепи;  $R$  – внешнее сопротивление цепи;  $r$  – внутреннее сопротивление цепи.

- Закон Ома в дифференциальной форме:

$$j = \gamma E,$$

где  $j = \frac{J}{S}$  – плотность тока;  $\gamma = \frac{1}{\rho}$  – удельная электрическая проводимость вещества проводника;  $E = \frac{U}{l}$  – напряженность электрического поля в проводнике.

- Работа электрического тока за время  $t$ :

$$A = JUt = J^2Rt = \frac{U^2}{R}t.$$

- Мощность тока:

$$P = \frac{A}{t} = JU = J^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

- Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме:

$$\omega = jE = \gamma E^2,$$

где  $\omega$  – удельная тепловая мощность тока, т.е. количество теплоты выделяющейся за единицу времени в единице объема.

- Правила Кирхгофа для разветвленных цепей:

1 правило: Алгебраическая сумма сил токов, входящих и выходящих из узла, равняется нулю.

$$\sum_{i=1}^N J_i = 0$$

2 правило: Для замкнутого контура алгебраическая сумма сил токов умноженных на сопротивление соответствующего участка контура равна алгебраической сумме ЭДС источников тока, входящих в данный контур.

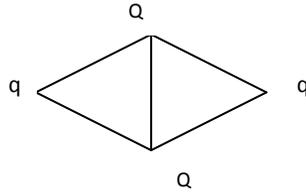
$$\sum_{i=1}^N J_i R_i = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i$$

## Задачи к разделу «Электричество»

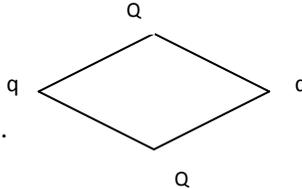
### Электростатика

1. Два одинаковых заряженных шарика массой  $m = 5$  г, подвешенных в одной точке на нитях длины  $l = 12$  см, разошлись так, что угол между нитями стал равен  $\alpha = 60^\circ$ . Определите заряд шариков.
2. Два одинаково заряженных шарика подвешены в одной точке на нитях одинаковой длины. При этом нити разошлись на угол  $\alpha$ . Шарики погружаются в масло. Какова плотность масла  $\rho_0$ , если угол расхождения нитей при погружении шариков в него остается неизменным? Плотность материала шариков  $\rho = 1500$  кг/м<sup>3</sup>, диэлектрическая проницаемость масла  $\epsilon = 2,2$ .
3. Два заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускаются в эфир. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и в эфире был один и тот же? Диэлектрическая проницаемость эфира  $\epsilon = 4,3$ .
4. Маленький шарик массой  $m = 100$  мг и зарядом  $q = 25$  нКл подвешен на нити. На какое расстояние надо поднести к нему снизу одноименный и равный ему заряд, чтобы сила натяжения нити уменьшилась в два раза?
5. Очень длинная нить равномерно заряжена с линейной плотностью  $\lambda = 0,2$  мкКл/м. Определить напряженность поля в точке, лежащей против конца нити на расстоянии  $a = 6$  см.
6. На тонком стержне длиной  $l = 20$  см находится равномерно распределенный заряд. На продолжении оси стержня на расстоянии  $a = 10$  см от ближайшего конца находится точечный заряд  $q = 40$  нКл, который взаимодействует со стержнем с силой  $F = 6$  мкН. Определить линейную плотность  $\lambda$  заряда на стержне.
7. На тонком кольце равномерно распределен заряд с линейной плотностью  $\lambda = 0,2$  нКл/см. Радиус кольца  $R = 15$  см. На перпендикуляре к плоскости кольца, восстановленном из его середины, находится точечный заряд  $q = 2$  нКл. Определить силу, действующую на точечный заряд со стороны заряженного кольца, если он удален от центра кольца на : 1.  $a = 20$  см; 2.  $a = 10$  см. Определить также напряженность поля, создаваемого в этих точках заряженным кольцом.

8. Четыре положительных заряда  $q = 33,3 \text{ нКл}$ ,  $Q = 42 \text{ мкКл}$  связаны нитями так, как показано на рисунке. Длина каждой нити  $l = 3 \text{ см}$ . Определите силу натяжения нити, связывающей заряды.



9. Четыре положительных заряда  $q = 33,3 \text{ нКл}$ ,  $Q = 42 \text{ мкКл}$  связаны нитями так, как показано на рисунке. Длина каждой нити  $l = 3 \text{ см}$ . Определите углы между нитями.



10. Вокруг заряда  $Q = 42 \text{ мкКл}$  вращаются по круговой орбите, располагаясь в углах квадрата со стороной  $l = 3 \text{ см}$ , четыре одинаковых частицы массы  $m = 2 \text{ мкг}$  и отрицательного заряда  $q = 33,3 \text{ нКл}$  каждая. Заряд  $Q$  находится в центре этого квадрата. Определите угловую скорость движения частиц по орбите.

11. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобретает скорость  $V = 1,2 \times 10^6 \text{ м/с}$ . Расстояние между пластинками  $D = 6 \text{ мм}$ . Найти напряженность электрического поля внутри конденсатора и поверхностную плотность заряда на пластинах.

12. Медный шар радиусом  $R = 0,5 \text{ см}$  помещен в масло. Плотность масла  $\rho_m = 0,8 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Найти заряд  $q$  шара, если в однородном электрическом поле шар оказался в взвешенном состоянии в масле. Электрическое поле направлено вертикально вверх и его напряженность  $E = 3,6 \text{ МВ/м}$ .

13. Два шарика с зарядами  $q_1 = 6,66 \text{ нКл}$  и  $q_2 = 13,33 \text{ нКл}$  находятся на расстоянии  $r_1 = 40 \text{ см}$ . Какую работу  $A$  надо совершить, чтобы сблизить их до расстояния  $r_2 = 25 \text{ см}$ ?

14. Найти потенциал  $\phi$  точки поля, находящейся на расстоянии  $r = 10 \text{ см}$  от центра заряженного шара радиусом  $R = 1 \text{ см}$ . Задачу решить, если: а) задана поверхностная плотность заряда на шаре  $\sigma = 0,1 \text{ мкКл/м}^2$ ; б) задан потенциал шара  $\phi_0 = 300 \text{ В}$ .

15. Какая работа  $A$  совершается при перенесении точечного заряда  $q = 20 \text{ нКл}$  из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии  $r = 1 \text{ см}$  от поверхности шара радиусом  $R = 1 \text{ см}$  с поверхностной плотностью заряда  $\sigma = 10 \text{ мкКл/м}^2$ ?

16. Шарик массой  $m = 1 \text{ г}$  и зарядом  $q = 10 \text{ нКл}$  перемещается из 1, потенциал которой  $\varphi_1 = 600 \text{ В}$ , в точку 2, потенциал которой  $\varphi_2 = 0$ . Найти его скорость в точке 1, если в точке 2 она стала равной  $v_2 = 20 \text{ см/с}$ .
17. Электрическое поле образовано положительно заряженной бесконечно длинной нитью. Двигаясь под действием этого поля от точки, находящейся на расстоянии  $r_1 = 1 \text{ см}$  от нити, до точки  $r_2 = 4 \text{ см}$ ,  $\alpha$ - частица изменила свою скорость от  $v_1 = 2 \times 10^5 \text{ м/с}$  до  $v_2 = 3 \times 10^6 \text{ м/с}$ . Найти линейную плотность заряда  $\lambda$ .
18. Электрическое поле образовано положительно заряженной бесконечно длинной нитью с линейной плотностью заряда  $\lambda = 0,2 \text{ мкКл/м}$ . Какую скорость  $v$  получит электрон под действием поля, приблизившись к нити с расстояния  $r_1 = 1 \text{ см}$  до расстояния  $r_2 = 0,5 \text{ см}$ ?
19. Около заряженной бесконечной плоскости находится точечный заряд  $q = 0,66 \text{ нКл}$ . Заряд перемещается по линии напряженности поля на расстояние  $\Delta R = 2 \text{ см}$ ; при этом совершается работа  $A = 50 \text{ эрг}$ . Найти поверхностную плотность заряда  $\sigma$  на плоскости.
20. Шарик радиусом  $R = 2 \text{ см}$  заряжается отрицательно до потенциала  $\varphi = 2 \text{ кВ}$ . Найти массу  $m$  всех электронов, составляющих заряд, сообщенный шару.
21. Четыре одинаковых капли ртути, заряженные до потенциала  $\varphi_0 = 10 \text{ В}$  сливаются в одну. Каков потенциал  $\varphi$  образовавшейся капли?
22. Цилиндрический конденсатор состоит из внутреннего цилиндра радиусом  $r = 3 \text{ мм}$ , двух слоев диэлектрика и внешнего цилиндра радиусом  $R = 1 \text{ см}$ . Первый слой диэлектрика толщиной  $d_1 = 3 \text{ мм}$  примыкает к внутреннему цилиндру. Найти отношение падений потенциала  $U_1/U_2$  в этих слоях.
23. Сферический конденсатор состоит из двух концентрических сфер радиусами  $r_1 = 5 \text{ см}$  и  $r_2 = 5,2 \text{ см}$ . Пространство между обкладками конденсатора заполнено маслом с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2,2$ . Определить: 1) емкость этого конденсатора; 2) шар какого радиуса, помещенный в масло, обладает такой емкостью?
24. Определить напряженность электростатического поля на расстоянии  $d = 1 \text{ см}$  от оси коаксиального кабеля, если радиус его центральной жилы  $r_1 = 0,5 \text{ см}$ , а радиус оболочки  $r_2 = 1,5 \text{ см}$ .

Разность потенциалов между центральной жилой и оболочкой  $U = 1$  кВ.

25. Емкость батареи конденсаторов, образованной двумя последовательно соединенными конденсаторами,  $C = 100$  нФ, а заряд  $Q = 20$  нКл. Определить емкость второго конденсатора, а также разности потенциалов на обкладках каждого конденсатора, если  $C_1 = 200$  нФ.

26. Электрон, летевший горизонтально со скоростью  $1600$  км/с, влетел в однородное электрическое поле с напряженностью  $E = 90$  В/см, направленное вертикально вверх. Какова будет по величине и направлению скорость электрона через  $10^{-9}$  с?

27. Бесконечная плоскость заряжена отрицательно с поверхностной плотностью заряда  $\sigma = 0,54 \cdot 10^{-9}$  Кл/м<sup>2</sup>. По направлению силовых линий поля, созданного плоскостью, летит электрон. Определить минимальное расстояние, на которое может подойти к плоскости электрон, если на расстоянии  $L_0 = 5$  см он имел кинетическую энергию  $80$  Эв?

28. Электрон с начальной скоростью  $3 \cdot 10^6$  м/с влетел в однородное электрическое поле напряженностью  $E = 150$  В/м. Вектор начальной скорости перпендикулярен силовым линиям поля. Найти ускорение и скорость электрона через время  $t = 0,1$  мкс.

29. На пластинах плоского конденсатора равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью  $\sigma = 0,2$  мкКл/м<sup>2</sup>. Расстояние между пластинами  $d_1 = 1$  мм. На сколько изменится разность потенциалов на его обкладках при увеличении расстояния между ними до  $d_2 = 3$  мм?

30. К одной из пластин плоского конденсатора плотно прилегает стеклянная пластинка, занимающая половину расстояния между ними. Конденсатор заряжен до разности потенциалов  $U = 100$  В. Какова будет разность потенциалов, если вытащить стеклянную пластинку из конденсатора?

31. Конденсатор емкостью  $C_1 = 0,6$  мкФ был заряжен до напряжения  $U_1 = 300$  В и соединен со вторым конденсатором емкостью  $C_2 = 0,4$  мкФ, заряженным до напряжения  $U_2 = 150$  В. Найти величину заряда, перетекшего с пластин первого конденсатора на второй.

32. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов  $U_1 = 500$  В. Площадь

пластин  $S = 200 \text{ см}^2$ , расстояние между ними  $d = 1,5 \text{ мм}$ . После отключения конденсатора от источника напряжения в пространство между пластинами внесли парафин. Определить разность потенциалов  $U_2$ , заряд на пластинах и емкость конденсатора после внесения диэлектрика.

### Электродинамика

33. Э.д.с. элемента равна  $6 \text{ В}$ . При внешнем сопротивлении, равном  $1,1 \text{ Ом}$ , сила тока в цепи равна  $3 \text{ А}$ . Найти падение потенциала внутри элемента и его сопротивление.

34. Э.д.с. батареи  $\varepsilon = 12 \text{ В}$ , сила тока короткого замыкания  $I = 5 \text{ А}$ . Какую наибольшую мощность может дать батарея во внешней цепи?

35. К батарее, Э.д.с. которой  $\varepsilon = 2 \text{ В}$  и внутреннее сопротивление  $r = 0,3 \text{ Ом}$ , присоединен проводник. Определить: 1) при каком сопротивлении проводника мощность, выделяемая в нем, максимальна? 2) какова при этом мощность, выделяемая в проводнике?

36. К зажимам батареи аккумуляторов присоединен нагреватель. Э.д.с. батареи  $\varepsilon = 24 \text{ В}$ , внутреннее сопротивление  $r = 1 \text{ Ом}$ . Нагреватель, включенный в цепь, потребляет мощность  $P = 80 \text{ Вт}$ . Вычислить силу тока в цепи.

37. При силе тока  $I_1 = 3 \text{ А}$  во внешней цепи батареи выделяется мощность  $P_1 = 18 \text{ Вт}$ , при силе тока  $I_2 = 1 \text{ А}$ , соответственно  $P_2 = 10 \text{ Вт}$ . Определить э.д.с. и внутреннее сопротивление батареи.

38. Ток в проводнике сопротивлением  $R = 100 \text{ Ом}$  равномерно нарастает от  $I_0 = 0$  до  $I_{\max} = 10 \text{ А}$  в течение времени  $\tau = 30 \text{ с}$ . Чему равно количество теплоты, выделившееся за это время в проводнике?

39. Ток в проводнике сопротивлением  $R = 12 \text{ Ом}$  равномерно убывает от  $I_0 = 5 \text{ А}$  до  $I = 0$  в течение времени  $\tau = 10 \text{ с}$ . Какое количество теплоты выделяется в этом проводнике за указанный промежуток времени.

40. По проводнику сопротивлением  $R = 3 \text{ Ом}$  течет равномерно возрастающий ток. Количество теплоты, выделившееся в проводнике за время  $\tau = 8 \text{ с}$ , равно  $Q = 200 \text{ Дж}$ . Определить количество электрического заряда, протекшего за это время по

проводнику. В начальный момент времени сила тока в проводнике была равна нулю.

41. Ток в проводнике сопротивлением  $R=15 \text{ Ом}$  равномерно возрастает от  $I_0 = 0$  до некоторого максимального значения в течение времени  $\tau = 5 \text{ с}$ . За это время в проводнике выделилось количество теплоты  $Q = 10^4 \text{ Дж}$ . Найти среднее значение силы тока в проводнике за этот промежуток времени.

42. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от  $I_0 = 0$  до  $I = 2 \text{ А}$  в течение времени  $t = 10 \text{ с}$ . Определить заряд  $q$ , прошедший в проводнике.

43. Определить плотность тока  $j$  в железном проводнике длиной  $l=10 \text{ м}$ , если провод находится под напряжением  $U = 6 \text{ В}$ .

44. Напряжение на шинах электростанции  $U = 6600 \text{ В}$ . Потребитель находится на расстоянии  $l = 10 \text{ км}$ . Какого сечения нужно взять медный провод для устройства двухпроводной линии передачи, если сила тока в линии  $I = 20 \text{ А}$  и потери напряжения в проводах не должны превышать 3%?

45. Вычислить сопротивление  $R$  графитового проводника, изготовленного в виде прямого кругового усеченного конуса длиной  $l = 20 \text{ см}$  и радиусами оснований  $R_1 = 12 \text{ мм}$  и  $R_2 = 8 \text{ мм}$ . Температура проводника  $t = 20^\circ \text{ С}$ .

46. На одном конце цилиндрического медного проводника сопротивлением  $R_0 = 10 \text{ Ом}$  (при  $0^\circ \text{ С}$ ) поддерживается температура  $t_1 = 20^\circ \text{ С}$ , на другом  $t_2 = 400^\circ \text{ С}$ . Найти сопротивление  $R$  проводника, считая градиент температуры вдоль его оси постоянным.

47. К элементу с э. д. с.  $\varepsilon = 1,5 \text{ В}$  присоединили катушку с сопротивлением  $R = 0,1 \text{ Ом}$ . Амперметр показал силу тока, равную  $I_1 = 0,5 \text{ А}$ . Когда к элементу присоединили последовательно еще один элемент с такой же э. д. с., то сила тока в той же катушке оказалась  $I_2 = 0,4 \text{ А}$ . Определить внутреннее сопротивление  $r$  первого и второго элементов.

48. Две группы из трех последовательно соединенных элементов соединены параллельно. Э. д. с. каждого элемента  $\varepsilon = 1,2 \text{ В}$ , внутреннее сопротивление  $r = 0,2 \text{ Ом}$ . Полученная батарея замкнута на внешнее сопротивление  $R=1,5 \text{ Ом}$ . Найти силу тока во внешней цепи.

49. Два элемента ( $\varepsilon_1 = 1,2 \text{ В}$ ,  $r_1 = 0,1 \text{ Ом}$ ;  $\varepsilon_2 = 0,9 \text{ В}$ ,  $r_2 = 0,3 \text{ Ом}$ ) соединены одноименными полюсами. Сопротивление соединительных проводов  $r = 0,2 \text{ Ом}$ . Определить силу тока в цепи.

50. По алюминиевому проводу сечением  $S=0,2 \text{ мм}^2$  течет ток  $I= 0,2 \text{ А}$ . Определить силу, действующую на отдельные свободные электроны со стороны электрического поля. Удельное сопротивление алюминия  $26 \text{ нОм}\cdot\text{м}$ .

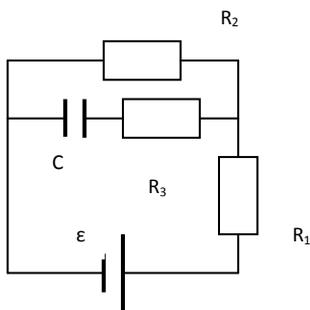
51. Элемент с Э.Д.С.  $\varepsilon = 6 \text{ В}$  дает максимальную силу тока  $I= 3 \text{ А}$ . Найти наибольшее количество тепла, которое может быть выделено во внешнем сопротивлении за  $1 \text{ мин}$ .

52. Определить: 1) общую мощность, 2) полезную мощность и 3) к.п.д. батареи, Э.Д.С. которой равна  $240 \text{ В}$ , если внешнее сопротивление равно  $23 \text{ Ом}$  и сопротивление батареи  $1 \text{ Ом}$ .

53. От генератора, э. д.с. которого равна  $110 \text{ В}$ , требуется передать энергию на расстояние  $250 \text{ м}$ . Потребляемая мощность равна  $1 \text{ кВт}$ . Найти минимальное сечение медных подводящих проводов, если потери мощности в сети не должны превышать  $1\%$ .

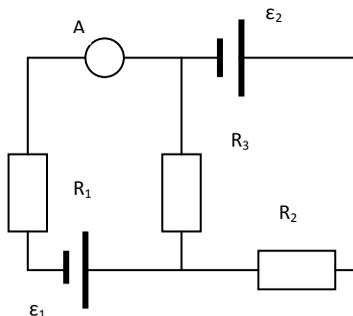
54. Электрокипятильник со спиралью сопротивлением  $R= 160 \text{ Ом}$  поместили в сосуд, содержащий воду объемом  $V= 0,5 \text{ л}$  при температуре  $T= 293 \text{ К}$  и включили в сеть напряжением  $U= 220 \text{ В}$ . Через время  $t= 20 \text{ мин}$  спираль выключили. Какое количество воды выкипело, если КПД спирали  $\eta= 80\%$ .

55. Какой заряд возникает на пластинках конденсатора  $C= 2 \text{ мкФ}$ , присоединенный к источнику тока, ЭДС которого  $\varepsilon= 3,6 \text{ В}$ , а внутреннее сопротивление  $r= 1 \text{ Ом}$ .  $R_1=4 \text{ Ом}$ ,  $R_2= 7 \text{ Ом}$ ,  $R_3= 3,3 \text{ Ом}$ .

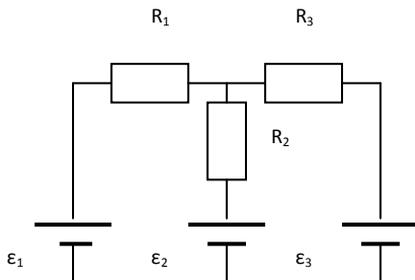


56. Батареи имеют э.д.с.  $\varepsilon_1= 110 \text{ В}$  и  $\varepsilon_2= 220 \text{ В}$ , сопротивления  $R_1= 100 \text{ Ом}$ ,  $R_2= 100 \text{ Ом}$ ,  $R_3= 500 \text{ Ом}$ .

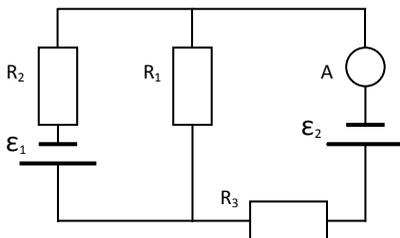
Найти показание амперметра. Внутренними сопротивлениями э.д.с.- источников пренебречь.



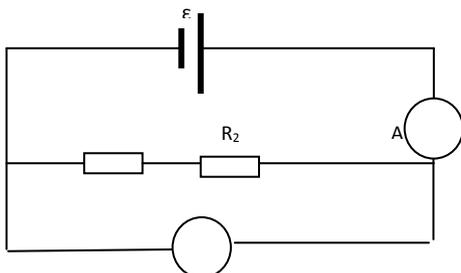
57. Батареи имеют э.д.с.  $\varepsilon_1 = 2,2 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2 = 4,3 \text{ В}$  и  $\varepsilon_3 = 6,1 \text{ В}$ , сопротивления  $R_1 = 4,1 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 6,5 \text{ Ом}$  и  $R_3 = 8,4 \text{ Ом}$ .  
Найти токи  $I_i$  во всех участках цепи.



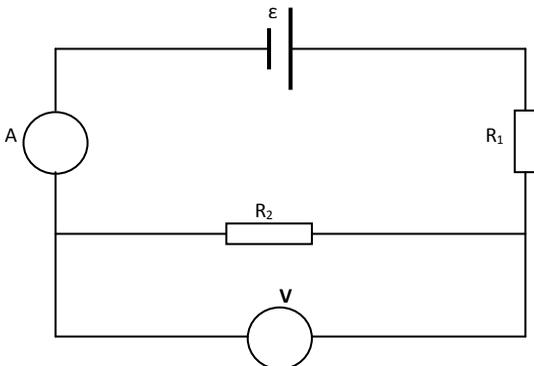
58. Батареи имеют э.д.с.  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ , сопротивление  $R_3 = 1,5 \text{ кОм}$ , сопротивление амперметра  $R_A = 0,5 \text{ кОм}$ . Падение потенциала на сопротивлении  $R_2$  равно  $U_2 = 1 \text{ В}$  (ток через  $R_2$  направлен сверху вниз). Найти показание амперметра.



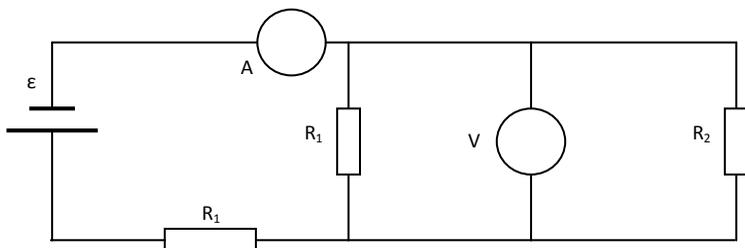
59. Найти показания амперметра и вольтметра. Сопротивление вольтметра  $1000 \text{ Ом}$ , э.д.с. батареи  $\varepsilon=110\text{В}$ ,  $R_1 = 400 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 600 \text{ Ом}$ . Сопротивлением батареи и амперметра пренебречь.



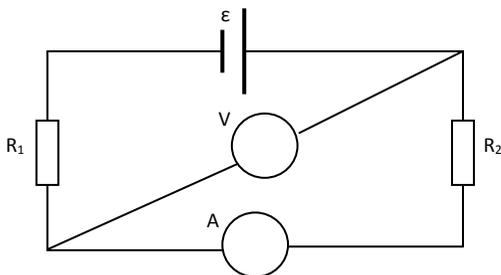
60. Найти показания амперметра и вольтметра. Сопротивление вольтметра  $1000 \text{ Ом}$ , э.д.с. батареи  $\varepsilon=110\text{В}$ ,  $R_1 = 400 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 600 \text{ Ом}$ . Сопротивлением батареи и амперметра пренебречь.



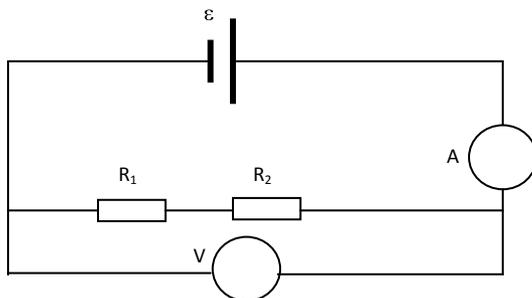
61. Найти показания амперметра и вольтметра. Сопротивление вольтметра  $1000 \text{ Ом}$ , э.д.с. батареи  $\varepsilon=110\text{В}$ ,  $R_1 = 400 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 600 \text{ Ом}$ . Сопротивлением батареи и амперметра пренебречь.



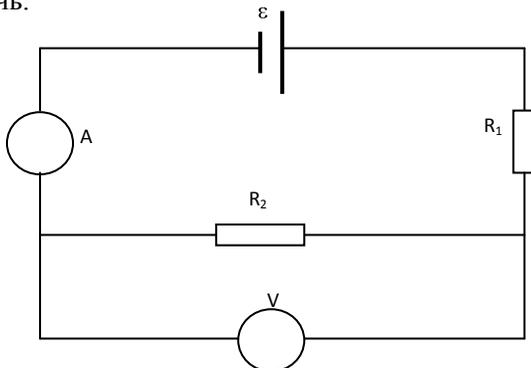
62. Найти показания амперметра и вольтметра. Сопротивление вольтметра  $1000 \text{ Ом}$ , э.д.с. батареи  $\varepsilon = 110 \text{ В}$ ,  $R_1 = 400 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 600 \text{ Ом}$ . Сопротивлением батареи и амперметра пренебречь.



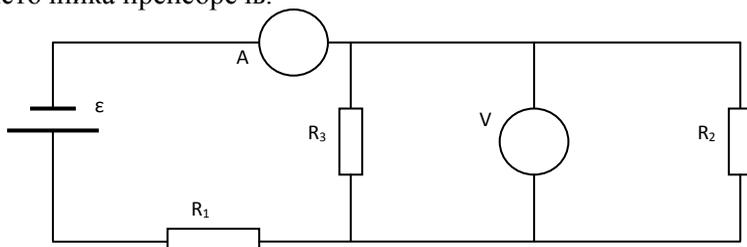
63. Найти тепловую мощность тока на сопротивлении  $R_1$ , если э.д.с. источника  $\varepsilon = 110 \text{ В}$ , а сопротивления  $R_1 = 100 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 200 \text{ Ом}$ ,  $R_V = 1000 \text{ Ом}$ . Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



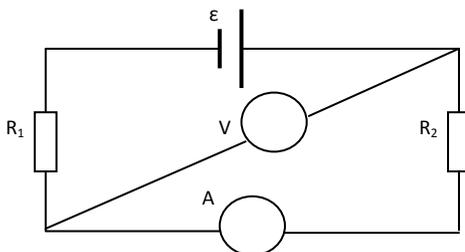
64. Найти тепловую мощность тока на сопротивлении  $R_1$ , если э.д.с. источника  $\varepsilon = 110 \text{ В}$ , а сопротивления  $R_1 = 100 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 200 \text{ Ом}$ ,  $R_V = 1000 \text{ Ом}$ . Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



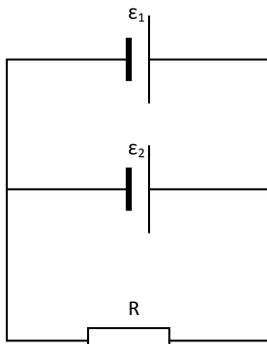
65. Найти тепловую мощность тока на сопротивлении  $R_1$ , если э.д.с. источника  $\varepsilon = 110 \text{ В}$ , а сопротивления  $R_1 = 100 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 200 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 300 \text{ Ом}$ ,  $R_V = 1000 \text{ Ом}$ . Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



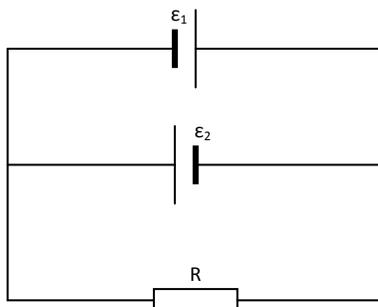
66. Найти тепловую мощность тока на сопротивлении  $R_1$ , если э.д.с. источника  $\varepsilon = 110 \text{ В}$ , а сопротивления  $R_1 = 100 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 200 \text{ Ом}$ ,  $R_V = 1000 \text{ Ом}$ . Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



67. Два элемента ( $\varepsilon_1 = 10 \text{ В}$ ,  $r_1 = 1 \text{ Ом}$ ,  $\varepsilon_2 = 8 \text{ В}$ ,  $r_2 = 2 \text{ Ом}$ ) и резистор ( $R = 6 \text{ Ом}$ ) соединены, как показано на рисунке. Найти силу тока через элементы и резистор.  $r$  - внутреннее сопротивление э.д.с.- источника.



68. Два источника тока ( $\varepsilon_1 = 8 \text{ В}$ ,  $r_1 = 2 \text{ Ом}$ ;  $\varepsilon_2 = 6 \text{ В}$ ,  $r_2 = 1,5 \text{ Ом}$ ) и резистор ( $R=10 \text{ Ом}$ ) соединены, как показано на рисунке. Вычислить силу тока, текущего через резистор.  $r$ - внутреннее сопротивление э.д.с.- источника.



69. Реостат из железной проволоки, миллиамперметр и генератор тока включены последовательно. Сопротивление реостата при  $0^\circ \text{C}$  равно  $120 \text{ Ом}$ , сопротивление миллиамперметра  $20 \text{ Ом}$ . Миллиамперметр показывает  $22 \text{ мА}$ . Что будет показывать миллиамперметр, если реостат нагреется на  $50^\circ \text{C}$ ? Температурный коэффициент сопротивления железа  $6 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$ . Сопротивлением генератора пренебречь.

70. Сколько витков нихромовой проволоки диаметром  $1 \text{ мм}$  надо намотать на фарфоровый цилиндр радиусом  $2,5 \text{ см}$ , чтобы получить печь сопротивлением  $40 \text{ Ом}$ ?

71. Сопротивление вольфрамовой нити электрической лампочки при  $20^\circ \text{C}$  равно  $3,8 \text{ Ом}$ . Какова будет температура нити лампочки, если при включении в сеть напряжением в  $120 \text{ В}$  по нити идет ток  $0,33 \text{ А}$ ? Температурный коэффициент сопротивления вольфрама  $\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$ .

72. От батареи, э. д. с. которой равна  $500 \text{ В}$ , требуется передать энергию на расстояние  $5 \text{ км}$ . Потребляемая мощность равна  $10 \text{ кВт}$ . Найти минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных подводящих проводов равен  $1,5 \text{ см}$ .

73. Катушка из медной проволоки имеет сопротивление  $R=10,8 \text{ Ом}$ . Масса медной проволоки равна  $m = 3,41 \text{ кг}$ . Сколько витков провода  $N$  и какого диаметра  $d$  намотано на катушке?

74. В лаборатории, удаленной от генератора на  $100 \text{ м}$ , включили электронагревательный прибор, потребляющий ток силой  $10 \text{ А}$ . На сколько изменилось напряжение на зажимах электрической лампочки, горящей в этой лаборатории? Сечение медных подводящих проводов равно  $5 \text{ мм}^2$ .

75. Обмотка катушки из медной проволоки при температуре  $14 \text{ }^\circ\text{C}$  имеет сопротивление  $10 \text{ Ом}$ . После пропускания тока сопротивление обмотки стало равно  $12,2 \text{ Ом}$ . До какой температуры нагрелась обмотка? Температурный коэффициент сопротивления меди равен  $4,15 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$ .

## МАГНЕТИЗМ

### Магнитное поле, магнитная индукция

- Связь магнитной индукции  $B$  и напряженности магнитного поля  $H$ :

$$B = \mu_0 \mu H ,$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$  – магнитная постоянная;  $\mu$  – магнитная проницаемость среды.

- Закон Био – Савара – Лапласа:

$$B = \frac{\mu_0 I J \cdot dl \cdot \sin \alpha}{4\pi} ,$$

где  $B$  – магнитная индукция поля, создаваемая элементом проводника длиной  $l$  с током  $J$ ;  $r$  – радиус-вектор, проведенный от  $dl$  к точке, в которой определяется магнитная индукция.

- Принцип суперпозиции магнитных полей:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^N \vec{B}_i ,$$

где  $\vec{B}$  – магнитная индукция результирующего поля;  $\vec{B}_i$  – магнитные индукции складываемых полей.

- Магнитная индукция поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током:

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{2J}{R} = \frac{\mu_0 \mu J}{2\pi R},$$

где  $R$  – расстояние от оси проводника.

- Магнитная индукция в центре кругового проводника с током:

$$B = \mu_0 \mu \frac{J}{2R},$$

где  $R$  – радиус кривизны проводника.

- Закон Ампера:

$$F_A = B J l \cdot \sin \alpha,$$

где  $F_A$  – сила, действующая на проводнике длиной  $l$  с током  $J$ , помещенный в магнитное поле с индукцией  $B$ ;  $\alpha$  – угол между направлением тока в проводнике и направлением силовых линий магнитной индукции.

- Сила взаимодействия двух прямых бесконечных прямолинейных параллельных проводников с током  $J_1$  и  $J_2$ :

$$F = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \cdot \frac{J_1 J_2}{R} l,$$

где  $R$  – расстояние между проводниками;  $l$  – длина проводника.

- Сила Лоренца:

$$F_{\text{Л}} = qvB \cdot \sin \alpha ,$$

где  $F_{\text{Л}}$  – сила, действующая на заряд  $q$ , движущийся в магнитном поле со скоростью  $v$ ;  $B$  – вектор магнитной индукции;  $\alpha$  – угол между скоростью движения заряда и направлением силовых линий магнитного поля.

- Магнитная индукция поля внутри соленоида в вакууме, имеющего  $N$  витков:

$$B = \frac{\mu_0 N J}{l} ,$$

где  $l$  – длина соленоида.

- Магнитная индукция поля внутри тороида в вакууме:

$$B = \frac{\mu_0 N J}{2\pi r} .$$

- Поток вектора магнитной индукции (магнитный поток) через площадку  $dS$ :

$$d\Phi = B \cos \alpha \cdot dS = B_n dS ,$$

где  $B_n$  – проекция вектора  $B$  на направление нормали к площадке.

- Поток вектора магнитной индукции сквозь произвольную поверхность  $S$ :

$$\Phi = \int_S B_n dS .$$

- Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле:

$$dA = Jd\Phi ,$$

где  $d\Phi$  – магнитный поток, который описывает проводник при своем движении через поверхность  $dS$  ( $d\Phi = B \cos \alpha \cdot dS = BdS$ ).

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

$$A = J\Delta\Phi ,$$

где  $\Delta\Phi$  – изменение магнитного потока, через поверхность  $S$  контура при его перемещении.

## Электромагнитная индукция

- Закон Фарадея–Максвелла:

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

где  $\varepsilon_i$  – ЭДС индукции.

- ЭДС индукции для катушки:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Psi}{dt},$$

где  $\Psi = N\Phi$  – поток сцепления катушки;  $N$  – число витков в катушке.

- Магнитный поток, создаваемый током  $J$  в контуре с индуктивностью  $L$ :

$$\Phi = LJ.$$

- ЭДС самоиндукции:

$$\varepsilon_i = -L\frac{dJ}{dt},$$

где  $L$  – индуктивность контура.

- Индуктивность для кругового витка:

$$L = \frac{\mu_0 \mu \pi R}{2}.$$

- Индуктивность соленоида:

$$L = \frac{\mu_0 \mu N^2 S}{l},$$

где  $N$  – число витков соленоида;  $l$  – длина соленоида.

- ЭДС взаимной индукции (ЭДС индуцируемая изменением силы тока в соседнем контуре):

$$\varepsilon = -L_{1,2} \frac{dJ}{dt},$$

где  $L_{1,2}$  – взаимная индуктивность контуров.

- Взаимная индуктивность двух катушек, намотанных на общий тороидальный сердечник:

$$L_{1,2} = L_{2,1} = \frac{\mu_0 \mu N_1 N_2 S}{l},$$

где  $N_1$  и  $N_2$  число витков в катушках;  $\mu$  – магнитная проницаемость среды;  $l$  – длина сердечника;  $S$  – площадь сердечника.

- Формула трансформатора:

$$\varepsilon_2 = -k\varepsilon_1,$$

где  $k = \frac{N_2}{N_1}$  – коэффициент трансформации, показывает во сколько раз ЭДС во вторичной обмотке больше или меньше ЭДС в первичной обмотке.  $N_1$  – число витков в первичной

обмотке;  $N_2$  – число витков во вторичной обмотке. Если  $k > 1$  – трансформатор повышающий;  $k < 1$  – трансформатор понижающий.

- Энергия магнитного поля, создаваемого током в замкнутом контуре индуктивностью  $L$ , по которому протекает ток  $J$ :

$$W_m = \frac{LJ^2}{2}.$$

- Объемная плотность энергии однородного магнитного поля длинного соленоида:

$$\omega_m = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \frac{BH}{2},$$

где  $H$  – напряженность магнитного поля;  $B$  – вектор магнитной индукции магнитного поля.

## Магнитные свойства вещества

- Механический орбитальный момент импульса электрона:

$$L = m\vartheta r,$$

где  $m$  – масса электрона;  $\vartheta$  – скорость движения электрона по круговой орбите радиуса  $r$ .

- Орбитальный магнитный момент электрона:

$$p_m = \frac{e\vartheta r}{2},$$

где  $e$  – заряд электрона.

- Связь орбитального магнитного и орбитального механического момента электрона:

$$\vec{p}_m = -g\vec{L} = -\frac{e\vec{L}}{2m},$$

где  $g = -\frac{e}{2m}$  – гиромагнитное отношение орбитальных моментов.

- Намагниченность:

$$\vec{j} = \frac{\vec{p}_m}{V} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{p}_{a_i}}{V},$$

где магнитный момент магнетика, равный векторной сумме магнитных моментов отдельных молекул:

$$\vec{p}_m = \sum_{i=1}^N \vec{p}_{a_i}.$$

- Связь между намагниченностью и напряженностью магнитного поля:

$$\vec{j} = X\vec{H},$$

где  $X$  – магнитная восприимчивость вещества.

- Связь между векторами  $\vec{B}, \vec{H}, \vec{j}$ :

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{j}) = \mu_0\vec{H}(1 + X),$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

- Связь между магнитной проницаемостью и магнитной восприимчивостью вещества:

$$\mu = 1 + X.$$

- Связь между векторами  $\vec{B}$  и  $\vec{H}$ :

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

где  $\mu$  – магнитная проницаемость вещества;  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

- Закон полного тока для магнитного поля в веществе (теорема о циркуляции вектора магнитной индукции  $B$ ):

$$\oint_L \vec{B} d\vec{L} = \oint_L B_1 dl = \mu_0(J + J'),$$

где  $d\vec{l}$  – вектор элементарной длины контура, направленный вдоль обхода контура;  $B_t$  – составляющая вектора  $B$  в направлении касательной контура  $L$  произвольной формы;  $J$  – алгебраическая сумма макротоков (токов проводимости);  $J'$  – алгебраическая сумма микротоков (молекулярных токов), охватываемых заданным контуром.

- Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = J,$$

где  $J$  – алгебраическая сумма токов проводимости, охватываемый контуром  $L$ .

## Основы теории Максвелла для электромагнитного поля

- Плотность тока смещения:

$$j_{см} = \frac{\partial D}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial t},$$

где  $D$  – электрическое смещение;  $\epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$  – плотность тока смещения в вакууме;  $\frac{\partial P}{\partial t}$  – плотность тока поляризации.

- Полная система уравнений Максвелла в интегральной форме:

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

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

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

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

где  $D = \varepsilon_0 \varepsilon E$ ;  $B = \mu_0 \mu H$ ;  $j = \gamma E$ ;  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды;  $\mu$  – магнитная проницаемость вещества.

- Полная система уравнений Максвелла для стационарных полей:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = 0 ;$$

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = J ;$$

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = q ;$$

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

- Полная система уравнений Максвелла в дифференциальной форме:

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t};$$

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho;$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t};$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0.$$

## Электромагнитные колебания

- Формула Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

где  $T$  – период собственных колебаний в колебательном контуре без активного сопротивления;  $L$  – индуктивность катушки;  $C$  – емкость колебательного контура.

- Частота электромагнитных колебаний в контуре:

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

- Дифференциальное уравнение свободных гармоничных колебаний заряда в контуре:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0 ,$$

где  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  – свободная частота колебательного контура.

- Решение дифференциального уравнения свободных гармонических колебаний заряда в контуре:

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi) ,$$

где  $q_m$  – амплитуда колебательного заряда;  $(\omega_0 t + \varphi)$  – фаза колебаний;  $\omega_0$  – собственная частота колебаний в контуре.

- Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний линейной системы и его решение:

$$\frac{d^2S}{dt^2} + 2\delta \frac{dS}{dt} + \omega_0^2 S = 0 ;$$

$$S = A_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi) ,$$

где  $S$  – колеблющаяся величина, описывающий физический процесс;  $\delta = \frac{R}{2L}$  – коэффициент затухания;  $\omega_0$  – циклическая частота свободных незатухающих колебаний системы;  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$  – частота затухающих колебаний;  $A_0 e^{-\delta t}$  – амплитуда затухающих колебаний.

- Декремент затухания:

$$\frac{A(t)}{A(t+T)} = e^{\delta t},$$

где  $A(t)$  и  $A(t+T)$  – амплитуды двух последовательных колебаний, соответствующих моментам времени, отличающимся на период.

- Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение для установившихся колебаний:

$$\frac{d^2 S}{dt^2} + 2\delta \frac{dS}{dt} + \omega_0^2 S = x_0 \cos \omega t ;$$

$$S = A \cos(\omega t - \varphi) ,$$

где  $S$  – колеблющаяся величина, описывающий физический процесс;

$$x_0 = \frac{U_m}{L} ;$$

$$A = \frac{x_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}} ,$$

$$\varphi = \arctg \frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} .$$

- Резонансная частота:

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}.$$

- Резонансная амплитуда:

$$A_{\text{рез}} = \frac{x_0}{2\delta\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}.$$

- Сдвиг фазы между напряжением и силой тока:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}.$$

## Электромагнитные волны

- Скорость распространения электромагнитных волн в среде:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}},$$

где  $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  – скорость распространения света в вакууме;  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды;  $\mu$  – магнитная проницаемость вещества.

- Связь между мгновенными значениями напряженностей электрического и магнитного поля электромагнитной волны:

$$\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} \cdot E = \sqrt{\mu_0 \mu} \cdot H ,$$

где  $E$  – мгновенное значение напряженности электрического поля электромагнитной волны;  $H$  – мгновенное значение напряженности магнитного поля электромагнитной волны.

- Уравнение плоской электромагнитной волны:

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

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

где  $E_0$  – амплитуда напряженности электрического поля волны;  $H_0$  – амплитуда напряженности магнитного поля волны;  $\omega$  – круговая частота;  $k = \frac{\omega}{v}$  – волновое число;  $\varphi_0$  – начальная фаза колебаний в точке с координатой  $x = 0$ .

- Объемная плотность энергии электромагнитного поля:

$$\omega = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} .$$

### Задачи к разделу «Магнетизм»

1. Ток силой  $I = 50 \text{ А}$  течет по проводнику, согнутому под углом  $\alpha = 90^\circ$ . Найти напряженность  $H$  магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии  $b = 20 \text{ см}$ . Считать, что оба конца проводника находятся очень далеко от вершины угла.
2. Два бесконечно длинных прямых проводника скрещены под углом  $\alpha = 30^\circ$ . По проводникам текут токи силой  $I_1 = 100 \text{ А}$  и  $I_2 = 50 \text{ А}$ . Расстояние между проводниками  $d = 20 \text{ см}$ . Определить индукцию  $B$  магнитного поля в точке, лежащей на середине общего перпендикуляра к проводникам.
3. По двум длинным параллельным проводам, расстояние между которыми  $d = 5 \text{ см}$ , текут одинаковые токи  $I = 10 \text{ А}$ . Определить индукцию  $B$  и напряженность  $H$  магнитного поля в точке, удаленной от каждого провода на расстояния  $r = 5 \text{ см}$ , если токи текут: а) в одинаковом направлении; б) в противоположных направлениях.
4. По проволочной рамке, имеющей форму правильного шестиугольника, идет ток силой  $I = 2 \text{ А}$ . При этом в центре рамки образуется магнитное поле напряженностью  $H = 33 \text{ А/м}$ . Найти напряженность поля для данной длины проволоки в виде круга.
5. Напряженность магнитного поля  $H = 50 \text{ А/м}$ . В этом поле находится свободно вращающаяся плоская рамка площадью  $S = 10 \text{ см}^2$ . Плоскость рамки вначале совпала с направлением индукции поля. Затем на рамке кратковременно пропустили ток силой  $I = 1 \text{ А}$  и рамка получила угловое ускорение  $\varepsilon = 100 \text{ рад/с}^2$ . Считая условно вращающий момент постоянным, найти момент инерции рамки  $I$ .
6. Два длинных параллельных провода находятся на расстоянии  $d = 5 \text{ см}$  один от другого. По проводам текут в противоположных направлениях одинаковые токи силой  $I = 10 \text{ А}$  каждый. Найти напряженность  $H$  магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии  $r_1 = 4 \text{ см}$  от одного и  $r_2 = 3 \text{ см}$  от другого провода.
7. Расстояние между двумя длинными параллельными проводами  $d = 100 \text{ см}$ . По проводам в одном направлении текут токи силой  $I = 30 \text{ А}$  каждый. Найти напряженность  $H$  магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии  $r_1 = 6 \text{ см}$  от одного и  $r_2 = 8 \text{ см}$  от другого провода.

8. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам текут токи  $I_1 = 50 \text{ А}$  и  $I_2 = 100 \text{ А}$  в противоположных направлениях. Расстояние между проводниками  $d = 20 \text{ см}$ . Определить магнитную индукцию в точке, удаленной от первого проводника на  $r_1 = 25 \text{ см}$  и от второго на  $r_2 = 40 \text{ см}$ .
9. По двум параллельным бесконечно длинным прямым проводникам текут токи  $I_1 = 20 \text{ А}$  и  $I_2 = 30 \text{ А}$  в одном направлении. Расстояние между проводниками  $d = 10 \text{ см}$ . Вычислить магнитную индукцию в точке, удаленной от обоих проводников на одинаковое расстояние  $r = 10 \text{ см}$ .
10. По контуру в виде равностороннего треугольника идет ток  $I = 40 \text{ А}$ . Сторона треугольника  $a = 30 \text{ см}$ . Определить магнитную индукцию в точке пересечения высот.
11. По контуру в виде квадрата идет ток  $I = 50 \text{ А}$ . Сторона квадрата  $a = 20 \text{ см}$ . Чему равна магнитная индукция в точке пересечения диагоналей?
12. По тонкому проводу, изогнутому в виде прямоугольника, течет ток  $I = 60 \text{ А}$ . Стороны прямоугольника  $a = 30 \text{ см}$  и  $b = 40 \text{ см}$ . Какое значение имеет магнитная индукция в точке пересечения диагоналей?
13. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи  $I = 100 \text{ А}$ . Определить силу  $F$  действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном ее длине.
14. Электрон в невозбужденном атоме водорода движется вокруг ядра по окружности радиусом  $R = 0,53 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ . Вычислить магнитный момент  $p_m$  эквивалентного кругового тока и механический момент  $M$ , действующий на круговой ток, если атом помещен в магнитное поле с индукцией  $B = 0,1 \text{ Тл}$ , направленной параллельно плоскости орбиты электрона.
15. Электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по круговой орбите некоторого радиуса. Чему равно отношение магнитного момента  $p_m$  эквивалентного кругового тока к величине момента импульса  $L$  орбитального движения электрона. Заряд электрона и его массу считать известными. Указать направления обоих векторов  $p_m$  и  $L$ .

16. По тонкому стержню длиной  $l = 20$  см равномерно распределен заряд  $q = 2,4 \cdot 10^{-7}$  Кл. Стержень приведен во вращение с постоянной угловой скоростью  $\omega = 10$  рад/с относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его середину. Определить: 1) магнитный момент, обусловленный вращением заряженного стержня; 2) отношение магнитного момента к моменту импульса  $\frac{P_m}{L}$ , если стержень имеет массу  $m = 12$  г.

17. Рамка гальванометра, содержащая  $N = 200$  витков тонкого провода, подвешена на упругой нити. Площадь рамки  $S = 1$  см<sup>2</sup>. Нормаль к плоскости рамки перпендикулярна к линиям магнитной индукции ( $B = 5 \times 10^{-3}$  Тл). Когда через гальванометр был пропущен ток  $I = 2$  мА, то рамка повернулась на угол  $\alpha = 30^\circ$ . Найти величину постоянной кручения  $D$  нити. Постоянной кручения называется величина, численно равная отношению момента силы, действующей на рамку, к углу закручивания.

18. Из тонкой проволоки, масса которой  $m = 2$  г, изготовлена квадратная рамка. Рамка свободно подвешена на упругой нити и по ней пропущен ток  $I = 6$  А. Определить период  $T$  малых колебаний рамки в магнитном поле с индукцией  $B = 2 \cdot 10^{-3}$  Тл.

19. Тонкий проводник в виде кольца массой  $m = 7$  г свободно подвешен на упругой нити в однородном магнитном поле. По кольцу течет ток  $I = 2$  А. Период  $T$  малых крутильных колебаний относительно вертикальной оси равен 1,2 с. Найти индукцию магнитного поля.

20. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью  $10^6$  м/с. Индукция магнитного поля равна 0,3 Тл. Радиус окружности 4 см. Найти заряд частицы, если известно, что ее энергия равна 12 кэВ.

21. Пучок электронов влетает в пространство, где возбуждены однородное электрическое поле напряженностью  $E = 1,5$  кВ/м и перпендикулярное ему магнитное поле с индукцией  $B = 1,5$  мТ. Скорость электронов постоянна и направлена перпендикулярно векторам  $E$  и  $B$ . Найти скорость движения электронов. Как будут двигаться электроны, если выключить электрическое поле? Каков радиус кривизны траектории электронов в этом случае?

22. Электрон в невозбужденном атоме водорода движется вокруг ядра по окружности радиусом  $R = 5,3 \text{ нм}$ . Вычислить магнитный момент  $P_m$  эквивалентного кругового тока и механический момент, действующий на атом в магнитном поле с индукцией  $B = 0,4 \text{ Тл}$ , направленной параллельно плоскости орбиты электрона.
23. Прямой длинный проводник согнут в виде угла, равного  $60^\circ$ . По проводнику течет ток силой  $10 \text{ А}$ . Определить индукцию магнитного поля при  $\mu = 1$  на биссектрисе внутреннего угла на расстоянии  $20 \text{ см}$  от вершины.
24. Протон с энергией  $10 \text{ МэВ}$  пролетает через однородное магнитное поле в вакууме перпендикулярно полю. Считая напряженность поля равной  $2 \text{ кА/м}$ , найти силу Лоренца и радиус траектории протона.
25. Прямой провод длиной  $L = 40 \text{ см}$ , по которому течет ток силой  $I = 100 \text{ А}$ , движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,5 \text{ Тл}$ . Какую работу совершат силы, действующие на провод со стороны поля, переместив его на расстояние  $S = 40 \text{ см}$ , если направление перемещения перпендикулярно линиям индукции и проводу.
26. Требуется изготовить соленоид длиной  $L = 20 \text{ см}$  и диаметром  $D = 6 \text{ см}$ , создающий на своей оси магнитную индукцию  $B = 1,2 \text{ мТл}$ . Найти разность потенциалов, которую надо приложить к концам обмотки соленоида. Для обмотки соленоида применяют медную проволоку диаметром  $d = 0,5 \text{ мм}$ .
27. Проволочный виток радиусом  $R = 4 \text{ см}$  и сопротивлением  $r = 0,01 \text{ Ом}$  находится в однородном магнитном поле ( $B = 0,2 \text{ Тл}$ ). Плоскость витка составляет угол  $\varphi = 30^\circ$  с линиями индукции. Какой заряд протечет по витку при включении магнитного поля?
28. По проводнику, изогнутому в виде окружности, течет ток. Напряженность магнитного поля в центре окружности  $H_1 = 50 \text{ А/м}$ . Не изменяя силы тока в проводнике, ему придали форму квадрата. Определить напряженность магнитного поля  $H_2$  в точке пересечения диагоналей этого квадрата.
29. Два параллельных длинных проводника находятся на расстоянии  $r_1 = 6 \text{ см}$ . По проводникам текут токи силой  $I_1 = 10 \text{ А}$  и  $I_2 = 20 \text{ А}$ . Какую работу, отнесенную к длине проводника надо

совершить, чтобы увеличить расстояние между ними до  $r_2=10\text{см}$ ? Токи имеют противоположные направления.

30. Под влиянием однородного магнитного поля в нем с ускорением  $0,2 \text{ м/с}^2$  движется прямолинейный алюминиевый проводник с площадью поперечного сечения  $1 \text{ мм}^2$ . По проводнику течет ток силой  $5 \text{ А}$ , его направление перпендикулярно линиям напряженности поля. Вычислить индукцию поля.

31. Короткая катушка площадью поперечного сечения  $S = 250 \text{ м}^2$ , содержащая  $N=500$  витков провода, по которому течет ток силой  $I=5 \text{ А}$ , помещена в однородное магнитное поле напряженностью  $H=1000 \text{ А/м}$ . Найти: 1) магнитный момент катушки; 2) вращающий момент, действующий на катушку, если ось катушки составляет угол  $\varphi = 30^\circ$  с линиями поля.

32. Прямолинейный проводник расположен перпендикулярно плоскости кругового проводника радиусом  $20 \text{ см}$  и проходит на расстоянии половины радиуса от центра. Прямолинейный ток имеет силу  $9,42 \text{ А}$ , а круговой  $2 \text{ А}$ . Определить напряженность магнитного поля, создаваемого токами в центре круга.

33. В горизонтальной плоскости вращается прямолинейный проводник длиной  $0,5 \text{ м}$  вокруг оси, проходящей через его конец. При этом он пересекает вертикальное однородное магнитное поле напряженностью  $50 \text{ А/м}$  ( $\mu=1$ ). По проводнику течет ток силой  $4 \text{ А}$ , частота его вращения  $20 \text{ с}^{-1}$ . Вычислить работу вращения проводника за  $1 \text{ с}$ .

34. По плоской круглой рамке, имеющей  $20$  витков радиусом  $2 \text{ см}$ , течет ток силой  $1 \text{ А}$ . Нормаль к рамке составляет угол  $90^\circ$  с направлением магнитного поля напряженностью  $30 \text{ А/м}$ . Найти изменение магнитного момента, действующего на рамку, если из  $20$  витков сделать один круглый виток.

35. Напряженность  $H$  магнитного поля в центре кругового витка равна  $500 \text{ А/м}$ . Магнитный момент витка  $p_m = 6 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ . Вычислить силу тока в витке и радиус витка.

36. По двум одинаковым круговым виткам радиусом  $R= 6 \text{ см}$ , плоскости которых перпендикулярны, а центры совпадают, текут одинаковые токи силой  $I= 3 \text{ А}$ . Найти индукцию магнитного поля в центре витков.

37. Прямой провод длиной  $L=40 \text{ см}$ , по которому течет ток силой  $I= 100 \text{ А}$ , движется в однородном магнитном поле с

индукцией  $B=0,5$  Тл. Какую работу совершат силы, действующие на провод со стороны поля, переместив его на расстояние  $S=40$  см, если направление перемещения перпендикулярно линиям индукции и проводу.

38. Прямой длинный проводник согнут в виде угла, равного  $60^\circ$ . По проводнику течет ток силой  $10$  А. Определить индукцию магнитного поля при  $\mu=1$  на биссектрисе внутреннего угла на расстоянии  $20$  см от вершины.

39. Электрон в невозбужденном атоме водорода движется вокруг ядра по окружности радиусом  $R=5,3$  нм. Вычислить магнитный момент  $p_m$  эквивалентного кругового тока и механический момент, действующий на атом в магнитном поле с индукцией  $B=0,4$  Т, направленной параллельно плоскости орбиты электрона.

40. Пучок электронов влетает в пространство, где возбуждены однородное электрическое поле напряженностью  $E=1,5$  кВ/м и перпендикулярное ему магнитное поле с индукцией  $B=1,5$  мТ. Скорость электронов постоянна и направлена перпендикулярно векторам  $E$  и  $B$ . Найти скорость движения электронов. Как будут двигаться электроны, если выключить электрическое поле? Каков радиус кривизны траектории электронов в этом случае?

41. В однородном магнитном поле напряженностью  $1000$  А/м равномерно вращается круглая рамка, имеющая  $100$  витков радиусом  $6$  см. Ось вращения проходит через диаметр рамки и перпендикулярна магнитному полю. Сопrotивление рамки  $1$  Ом, угловая скорость вращения  $10$  рад/с<sup>-1</sup>. Найти максимальную силу тока в рамке.

42. Рамка площадью  $S=200$  см<sup>2</sup> равномерно вращается с частотой  $n=10$  с<sup>-1</sup> относительно оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной линиям индукции однородного магнитного поля ( $B=0,2$  Т). Определить среднее значение э.д.с. индукции за время, в течение которого магнитный поток, пронизывающий рамку, изменяется от нуля до максимального значения.

43. Тонкий медный проводник массой  $m=1$  г согнут в виде квадрата и концы его замкнуты. Квадрат помещен в однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,1$  Т так, что его плоскость перпендикулярна линиям поля. Определить заряд  $q$ , который

протечет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные концы, вытянуть в линию.

44. Рамка, имеющая  $N=1500$  витков площадью  $S=50 \text{ см}^2$ , равномерно вращается с частотой  $n=960 \text{ об/мин}$  в магнитном поле напряженностью  $H=10^5 \text{ А/м}$ . Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям напряженности. Определить максимальную э.д.с. индукции, возникающую в рамке.

45. Прямой провод длиной  $L=40 \text{ см}$ , по которому течет ток силой  $I=100 \text{ А}$ , движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,5 \text{ Тл}$ . Какую работу совершат силы, действующие на провод со стороны поля, переместив его на расстояние  $S=40 \text{ см}$ , если направление перемещения перпендикулярно линиям индукции и проводу.

46. Заряженная частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов  $200 \text{ В}$ , влетела в скрещенные под прямым углом электрическое и магнитное поля и движется перпендикулярно обоим полям. Напряженность электрического поля  $12 \text{ кВ/м}$ , индукция магнитного поля  $0,6 \text{ Т}$ . Найти удельный заряд частицы.

47. В однородном магнитном поле напряженностью  $H=200 \text{ А/м}$  равномерно вращается с частотой  $n=10 \text{ с}^{-1}$  стержень длиной  $L=20 \text{ см}$  так, что плоскость его вращения перпендикулярна линиям напряженности, а ось вращения проходит через один из его концов. Определить индуцируемую на концах стержня разность потенциалов.

48. Требуется изготовить соленоид длиной  $L=20 \text{ см}$  и диаметром  $D=6 \text{ см}$ , создающий на своей оси магнитную индукцию  $B=1,2 \text{ мТл}$ . Найти разность потенциалов, которую надо приложить к концам обмотки соленоида. Для обмотки соленоида применяют медную проволоку диаметром  $d=0,5 \text{ мм}$ .

49. Проволочный виток радиусом  $R=4 \text{ см}$  и сопротивлением  $r=0,01 \text{ Ом}$  находится в однородном магнитном поле ( $B=0,2 \text{ Т}$ ). Плоскость витка составляет угол  $\varphi=30^\circ$  с линиями индукции. Какой заряд протечет по витку при включении магнитного поля?

50. Электрон движется в однородном магнитном поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определить силу  $F$ , действующую на электрон со стороны поля, если индукция магнитного поля  $B=0,2 \text{ Т}$ , а радиус кривизны траектории  $R=0,2 \text{ см}$ .

51. Под влиянием однородного магнитного поля в нем с ускорением  $0,2 м/с^2$  движется прямолинейный алюминиевый проводник с площадью поперечного сечения  $1 мм^2$ . По проводнику течет ток силой  $5А$ , его направление перпендикулярно линиям напряженности поля. Вычислить индукцию поля.

52. Два иона с одинаковыми зарядами, пройдя одну и ту же ускоряющую разность потенциалов, влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно магнитной индукции. Один ион, масса которого  $m_1=12a.е.м.$ , описал дугу окружности радиусом  $R_1=2см$ . Определить массу другого иона, который описал дугу окружности радиусом  $R_2=2,31см$ .

53. Прямолинейный проводник расположен перпендикулярно плоскости кругового проводника радиусом  $20см$  и проходит на расстоянии половины радиуса от центра. Прямолинейный ток имеет силу  $9,42А$ , а круговой  $2А$ . Определить напряженность магнитного поля, создаваемого токами в центре круга.

54. В соленоид перпендикулярно вектору индукции его поля влетает  $\alpha$ - частица со скоростью  $5 \cdot 10^3 м/с$ . Определить силу, действующую на нее при следующих данных: сила тока в обмотке соленоида  $1А$ , соленоид имеет  $100$  витков на  $1см$  длины и находится в вакууме.

55. Два бесконечно длинных проводника скрещены под прямым углом. По проводникам текут токи силой  $I_1=100А$  и  $I_2=50А$ . Расстояние между проводниками  $d=20см$ . Определить индукцию магнитного поля в точке, лежащей на середине общего перпендикуляра к проводникам.

56. В горизонтальной плоскости вращается прямолинейный проводник длиной  $0,5м$  вокруг оси, проходящей через его конец. При этом он пересекает вертикальное однородное магнитное поле напряженностью  $50А/м$  ( $\mu=1$ ). По проводнику течет ток силой  $4А$ , частота его вращения  $20 с^{-1}$ . Вычислить работу вращения проводника за  $1с$ .

57. Прямой провод длиной  $L=40см$ , по которому течет ток силой  $I=100А$ , движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,5Тл$ . Какую работу совершат силы, действующие на провод со стороны поля, переместив его на расстояние  $S=40см$ , если направление перемещения перпендикулярно линиям индукции и проводу.

58. Прямой длинный проводник согнут в виде угла, равного  $60^\circ$ . По проводнику течет ток силой  $10A$ . Определить индукцию магнитного поля при  $\mu = 1$  на биссектрисе внутреннего угла на расстоянии  $20\text{ см}$  от вершины.

59. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи силой  $I = 200A$ . Определить силу, действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится от него на расстоянии, равном ее длине.

60. Заряженная частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов  $200\text{ В}$ , влетела в скрещенные под прямым углом электрическое и магнитное поля и движется перпендикулярно обоим полям. Напряженность электрического поля  $12\text{ кВ/м}$ , индукция магнитного поля  $0,6\text{ Т}$ . Найти удельный заряд частицы.

61. Электрон в невозбужденном атоме водорода движется вокруг ядра по окружности радиусом  $R = 5,3\text{ нм}$ . Вычислить магнитный момент  $p_m$  эквивалентного кругового тока и механический момент, действующий на атом в магнитном поле с индукцией  $B = 0,4\text{ Т}$ , направленной параллельно плоскости орбиты электрона.

62. Прямой длинный проводник согнут в виде угла, равного  $60^\circ$ . По проводнику течет ток силой  $10A$ . Определить индукцию магнитного поля при  $\mu = 1$  на биссектрисе внутреннего угла на расстоянии  $20\text{ см}$  от вершины.

63. Соленоид длиной  $l = 50\text{ см}$  и диаметром  $d = 0,8\text{ см}$  имеет  $N = 20000$  витков медного провода и находится под постоянным напряжением. Определить время, в течение которого в обмотке соленоида выделится количество теплоты, равное энергии магнитного поля в соленоиде.

64. Катушка, намотанная на немагнитный цилиндрический каркас, имеет  $N = 250$  витков и индуктивность  $L_1 = 36\text{ мГн}$ . Чтобы увеличить индуктивность катушки до  $L_2 = 100\text{ мГн}$ , обмотку катушки сняли и заменили на обмотку из более тонкой проволоки с таким расчетом, чтобы длина катушки осталась прежней. Сколько витков оказалось в катушке после перемотки?

65. Соленоид имеет стальной полностью размагниченный сердечник объемом  $V = 500\text{ см}^3$ . Напряженность  $H$  магнитного поля

соленоида при силе тока  $I = 0,6A$  равна  $1000A/m$ . Определить индуктивность соленоида.

66. Соленоид диаметром  $d = 10cm$  и длиной  $l = 60cm$  имеет  $N = 1000$  витков. Сила тока в нем равномерно возрастает на  $\Delta I = 0,2A$  за  $\Delta t = 1c$ . На соленоид надето кольцо из медной проволоки, имеющей площадь поперечного сечения  $S = 2mm^2$ . Найти силу индукционного тока, возникающего в кольце.

67. Катушку с ничтожно малым сопротивлением и индуктивностью  $L = 3Гн$  присоединяют к источнику тока с э.д.с.  $\varepsilon = 15B$  и ничтожно малым внутренним сопротивлением. Через какой промежуток времени сила тока в катушке достигнет значения  $I = 50A$ ?

68. Соленоид содержит  $N = 800$  витков. Сечение сердечника (из немагнитного материала)  $S = 10cm^2$ . По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией  $B = 8mT$ . Определить среднее значение э.д.с. самоиндукции, которая возникает на зажимах соленоида, если сила тока уменьшается до нуля за время  $\Delta t = 0,8ms$ .

69. Обмотка соленоида с железным сердечником содержит  $N = 600$  витков. Длина сердечника  $l = 40cm$ . Как и во сколько раз изменится индуктивность соленоида, если сила тока, протекающего по его обмотке, возрастает от  $I_1 = 0,2A$  до  $I_2 = 1A$  ?

70. Круглая рамка, имеющая  $200$  витков и площадь  $S = 100cm^2$ , равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $0,03T$  вокруг оси, перпендикулярной полю и проходящей через ее диаметр. Вычислить частоту вращения, если максимальный ток, индуцируемый в рамке, составляет  $0,02A$ . Сопротивление рамки  $20 Ом$ .

71. На железный полностью размагниченный сердечник диаметром  $d = 5cm$  и длиной  $l = 80cm$  намотано в один слой  $N = 240$  витков провода. Вычислить индуктивность получившегося соленоида при силе тока  $I = 0,6A$ .

72. По катушке индуктивностью  $L = 8 мкГн$  течет ток силой  $I = 6A$ . При выключении тока его сила уменьшается практически до нуля за время  $\Delta t = 5ms$ . Определить среднее значение э.д.с. индукции, возникающей в контуре.

73. Соленоид имеет стальной полностью размагниченный сердечник объемом  $V = 500 \text{ см}^3$ . Напряженность  $H$  магнитного поля соленоида при силе тока  $I = 0,6 \text{ А}$  равна  $1000 \text{ А/м}$ . Определить индуктивность соленоида.

74. Соленоид содержит  $N = 800$  витков. Сечение сердечника (из немагнитного материала)  $S = 10 \text{ см}^2$ . По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией  $B = 8 \text{ мТл}$ . Определить среднее значение э.д.с. самоиндукции, которая возникает на зажимах соленоида, если сила тока уменьшается до нуля за время  $\Delta t = 0,8 \text{ мс}$ .

75. Магнитный поток  $\Phi = 0,04 \text{ Вб}$  пронизывает замкнутый контур. Определить среднее значение величины э. д. с. индукции, которая возникает в контуре, если магнитный поток изменится до нуля за время  $t = 0,002 \text{ с}$ .

76. В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,35 \text{ Тл}$  равномерно с частотой  $n = 480 \text{ об/мин}$  вращается рамка, содержащая  $N = 1500$  витков площадью  $S = 50 \text{ см}^2$ . Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Определить максимальную э.д.с. индукции  $\varepsilon_{\text{max}}$ , возникающую в рамке.

77. Индукция магнитного поля между полюсами двухполюсного генератора  $B = 0,8 \text{ Тл}$ . Ротор имеет  $N = 100$  витков площадью  $S = 400 \text{ см}^2$ . Сколько оборотов в минуту делает якорь, если максимальное значение э.д.с. индукции  $\varepsilon_i = 200 \text{ В}$ ?

78. На картонный каркас длиной  $l = 50 \text{ см}$  и площадью сечения  $S = 4 \text{ см}^2$  намотан в один слой провод диаметром  $d = 0,2 \text{ мм}$  так, что витки плотно прилегают друг к другу (толщиной изоляции пренебречь). Вычислить индуктивность получившегося соленоида.

79. Индуктивность соленоида, намотанного в один слой на немагнитный каркас,  $L = 1,6 \text{ мГн}$ . Длина соленоида  $l = 1 \text{ м}$ , сечение  $S = 20 \text{ см}^2$ . Сколько витков приходится на каждый сантиметр длины соленоида?

80. Сколько витков проволоки диаметром  $d = 0,4 \text{ мм}$  с изоляцией ничтожной толщины нужно намотать на картонный цилиндр диаметром  $D = 2 \text{ см}$ , чтобы получить однослойную катушку с индуктивностью  $L = 1 \text{ мГн}$ ? Витки вплотную прилегают друг к другу.

81. Соленоид сечением  $S = 5 \text{ см}^2$  содержит  $N = 1200$  витков. Индукция магнитного поля  $B$  внутри соленоида при токе  $I = 2 \text{ А}$  равна  $0,01 \text{ Тл}$ . Определить индуктивность  $L$  соленоида.

82. Соленоид содержит  $N=1000$  витков. Сечение сердечника  $S=10 \text{ см}^2$ . По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией  $B = 1,5 \text{ Тл}$ . Найти среднее значение э.д.с, которая возникнет на зажимах соленоида, если ток уменьшится до нуля за время  $\tau = 5 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ .
83. Конденсатор емкостью  $C = 500 \text{ нФ}$  соединен параллельно с катушкой длиной  $l = 40 \text{ см}$  и сечением  $S = 5 \text{ см}^2$ , содержащей  $N = 1000$  витков. Сердечник немагнитный. Найти период  $T$  колебаний.
84. Катушка (без сердечника) длиной  $l = 50 \text{ см}$  и сечением  $S_1 = 3 \text{ см}^2$  имеет  $N=1000$  витков и соединена параллельно с конденсатором. Конденсатор состоит из двух пластин площадью  $S_2 = 75 \text{ см}^2$  каждая. Расстояние между пластинами  $d = 5 \text{ мм}$ , диэлектрик - воздух. Определить период  $T$  колебаний контура.
85. Колебательный контур состоит из параллельно соединенных конденсатора емкостью  $C = 1 \text{ мкФ}$  и катушки с индуктивностью  $L = 1 \text{ мГн}$ . Сопротивление контура ничтожно мало. Найти частоту  $\nu$  колебаний.
86. Индуктивность колебательного контура  $L = 0,5 \text{ мГн}$ . Какова должна быть емкость контура, чтобы он резонировал на длину волны  $\lambda = 300 \text{ м}$ ?
87. На какую длину волны будет резонировать контур, состоящий из катушки с индуктивностью  $L = 4 \text{ мкГн}$  и конденсатора емкостью  $C = 10 \text{ нФ}$ ?
88. В магнитном поле, индукция которого  $B = 0,05 \text{ Тл}$  помещена катушка, состоящая из  $N = 200$  витков проволоки. Сопротивление катушки  $R = 40 \text{ Ом}$ ; площадь поперечного сечения  $S = 12 \text{ см}^2$ . Катушка помещена так, что ось составляет угол  $\alpha = 60^\circ$  с направлением магнитного поля. Какое количество электричества  $q$  пройдет по катушке при исчезновении магнитного поля?
89. Электрическая лампочка, сопротивление которой в горячем состоянии  $R = 10 \text{ Ом}$ , подключается через дроссель к 12-вольтовому аккумулятору. Индуктивность дросселя  $L = 2 \text{ Гн}$ , сопротивление  $r = 1 \text{ Ом}$ . Через какое время  $t$  после включения лампочка загорится, если она начинает заметно светиться при напряжении на ней  $U = 6 \text{ В}$ ?
90. Имеется катушка длиной  $l = 20 \text{ см}$  и диаметром  $D = 2 \text{ см}$ . Обмотка катушки состоит из  $N = 200$  витков медной проволоки, площадь поперечного сечения которой  $S = 1 \text{ мм}^2$ .

Катушка включена в цепь с некоторой э.д.с. При помощи переключателя э.д.с. выключается, и катушка замыкается накоротко. Через какое время  $t$  после выключения э.д.с. ток в цепи уменьшится в 2 раза?

91. Катушка имеет индуктивность  $L = 0,2 \text{ Гн}$  и сопротивление  $R = 1,64 \text{ Ом}$ . Во сколько раз уменьшится ток в катушке через время  $t = 0,05 \text{ с}$  после того, как э.д.с. выключена и катушка замкнута накоротко?

92. Катушка имеет индуктивность  $L = 0,144 \text{ Гн}$  и сопротивление  $R = 10 \text{ Ом}$ . Через какое время  $t$  после включения в катушке потечет ток, равный половине установившегося?

93. Рамка площадью  $S = 200 \text{ см}^2$  равномерно вращается с частотой  $n = 10 \text{ с}^{-1}$  относительно оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной линиям индукции однородного магнитного поля ( $B = 0,2 \text{ Т}$ ). Определить среднее значение э.д.с. индукции за время, в течение которого магнитный поток, пронизывающий рамку, изменяется от нуля до максимального значения.

# ОПТИКА

## Геометрическая оптика

- Закон отражения:

$$\angle \alpha = \angle \beta ,$$

где  $\alpha$  – угол падения;  $\beta$  – угол отражения.

- Закон преломления света:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} ,$$

где  $\alpha$  – угол падения;  $\gamma$  – угол преломления;  $v_1$  – скорость света в первой среде;  $v_2$  – скорость света во второй среде;  $n = \frac{c}{v}$  – абсолютный показатель преломления среды;  $n_2$  – абсолютный показатель преломления второй среды;  $n_1$  – абсолютный показатель преломления первой среды;  $n_{2,1}$  – относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

- Предельный угол полного внутреннего отражения при распространении света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную:

$$\sin \alpha_{\text{пр}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1} .$$

- Оптическая сила тонкой линзы

$$D = \frac{1}{F} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{b},$$

где  $F$  – фокусное расстояние линзы;  $n = \frac{n_2}{n_1}$  – относительный показатель второй среды относительно первой ( $n_2$  и  $n_1$  – абсолютный показатель преломления линзы и окружающей среды);  $R_1$  и  $R_2$  – радиусы кривизны поверхностей ( $R < 0$  для выпуклой поверхности;  $R > 0$  для вогнутой поверхности);  $a$  – расстояние от оптического центра линзы до предмета;  $b$  – расстояние от оптического центра линзы до изображения.

- Формула сферического зеркала:

$$\frac{1}{F} = \frac{2}{R} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b},$$

где  $F$  – фокусное расстояние зеркала;  $a$  – расстояние от зеркала до предмета;  $b$  – расстояние от зеркала до изображения;  $R$  – радиус кривизны зеркала.

- Энергетическая сила света (сила излучения):

$$J_e = \frac{\Phi_e}{\omega},$$

где  $\Phi_e$  – поток излучения источника;  $\omega$  – телесный угол, в пределах которого это излучение распространяется.

- Энергетическая светимость:

$$Re = \frac{\Phi_e}{S},$$

где  $\Phi_e$  – световой поток, испускаемый поверхностью;  $S$  – площадь этой поверхности.

- Энергетическая яркость (лучистость):

$$Be = \frac{J}{S \cos \varphi},$$

где  $J$  – сила света;  $S$  – площадь поверхности;  $\varphi$  – угол между нормалью к элементу поверхности в направлении наблюдения.

- Освещенность поверхности:

$$E = \frac{\Phi}{S},$$

где  $\Phi$  – световой поток, падающий на поверхность;  $S$  – площадь этой поверхности.

## Интерференция света

- Разность фаз двух когерентных волн:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} (l_2 - l_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot \Delta l,$$

где  $l = S \cdot n$  – оптическая длина пути ( $S$  – геометрическая длина пути световой волны в среде;  $n$  – показатель преломления среды);  $\Delta l = l_2 - l_1$  – оптическая разность хода двух световых волн;  $\lambda_0$  – длина волны в вакууме.

- Условие интерференционных максимумов:

$$\Delta l = \pm k\lambda_0, \quad (k = 0, 1, 2, \dots).$$

- Условие интерференционных минимумов:

$$\Delta l = \pm \frac{(2k + 1)\lambda_0}{2}, \quad (k = 0, 1, 2, \dots).$$

- Условия максимумов и минимумов при интерференции света, отраженного от верхней и нижней поверхностей тонкой плоско-параллельной пленки, находящейся в воздухе ( $n_0 = 1$ ):

$$2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi} \pm \frac{\lambda_0}{2} = k\lambda_0, \quad (k = 0, 1, 2, \dots),$$

$$2b\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi} \pm \frac{\lambda_0}{2} = \frac{(2k + 1)\lambda_0}{2}, \quad (k = 0, 1, 2, \dots),$$

где  $b$  – толщина пленки;  $n$  – показатель преломления пленки;  $\varphi$  – угол падения;  $\pm \frac{\lambda_0}{2}$  – величина вызванная потерей полуволны при отражении света от границы раздела.

- Радиусы светлых колец Ньютона в отраженном свете (или темных в проходящем свете):

$$r_k = \sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right) \lambda_0 R}, \quad (k = 1, 2, 3, \dots),$$

где  $k$  – номер кольца;  $R$  – радиус кривизны линзы.

- Радиусы темных колец Ньютона в отраженном свете (или светлых в проходящем свете):

$$r'_k = \sqrt{k \lambda_0 R}, \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

## Дифракция света

- Радиус внешней границы  $k$ -й зоны Френеля для сферической волны:

$$r_k = \sqrt{\frac{kab\lambda}{a+b}},$$

где  $k$  – номер зоны Френеля;  $\lambda$  – длина волны;  $a$  и  $b$  – расстояния диафрагмы с круглым отверстием от точечного источника и от экрана, на котором дифракционная картина наблюдается.

- Условие дифракционного максимума от одной щели, на которую свет падает нормально:

$$a \cdot \sin \varphi = \pm(2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (k = 1, 2, 3, \dots),$$

где  $a$  – ширина щели;  $\varphi$  – угол дифракции;  $k$  – порядок спектра;  $\lambda$  – длина волны.

- Условие дифракционного минимума от одной щели, на которую свет падает нормально:

$$a \cdot \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2} = \pm k\lambda, \quad (k = 1, 2, 3, \dots).$$

- Период дифракционной решетки:

$$d = \frac{1}{N},$$

где  $N$  – число штрихов (щелей), приходящихся на единицу длины решетки.

- Разрешающая способность дифракционной решетки:

$$R = kN,$$

где  $k$  – порядок спектра;  $N$  – общее число штрихов решетки.

- Разрешающая способность объектива:

$$R = \frac{D}{1,22 \cdot \lambda},$$

где  $D$  – диаметр объектива;  $\lambda$  – длина волны.

## Поляризация света

- Степень поляризации света:

$$P = \frac{J_{max} - J_{min}}{J_{max} + J_{min}},$$

где  $J_{max}$  и  $J_{min}$  – максимальная и минимальная интенсивность частично поляризованного света, пропускаемого анализатором.

- Закон Малюса:

$$J = J_0 \cos^2 \varphi,$$

где  $J$  – интенсивность прошедшего света через поляризатор;  $J_0$  – интенсивность света, подающего на анализатор;  $\varphi$  – угол между плоскостью поляризатора и анализатора.

- Закон Брюстера:

$$\operatorname{tg} i_B = n_{2,1},$$

где  $i_B$  – угол падения, при котором отраженный от диэлектрика луч является плоскополяризованным;  $n_{2,1}$  – относительный показатель преломления.

## Квантовая природа излучения

- Закон Стефана–Больцмана:

$$Re = \delta T^4,$$

где  $Re$  – излучательная способность (энергетическая светимость) черного тела;  $\delta = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$  – постоянная Стефана–Больцмана;  $T$  – термодинамическая температура.

- Связь энергетической светимости  $Re$  и спектральной плотности энергетической светимости  $r_{\nu,T}(r_{\lambda,T})$  черного тела:

$$Re = \int_0^{\infty} r_{\nu,T} d\nu = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda.$$

- Закон смещения Вина:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T},$$

где  $\lambda_{max}$  – длина волны, соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости черного тела;  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$  – постоянная Вина.

- Зависимость максимальной спектральной плотности энергетической светимости черного тела от температуры:

$$(r_{\lambda T})_{max} = C \cdot T^5,$$

где  $C = 1,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^5}$ .

- Энергия кванта:

$$\varepsilon_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

где  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$  – постоянная Планка;  $\nu$  – частота света;  $\lambda$  – длина волны света;  $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  – скорость света в вакууме.

- Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$\varepsilon = h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{к}},$$

где  $\varepsilon = h\nu$  – энергия фотона, падающего на поверхность металла;  $A_{\text{вых}}$  – работа выхода электрона из металла;  $E_{\text{к}}$  – кинетическая энергия фотоэлектрона.

- «Красная граница» фотоэффекта:

$$\nu_0 = \frac{A_{\text{вых}}}{h}; \quad \lambda_0 = \frac{hc}{A_{\text{вых}}},$$

где  $\lambda_0$  – максимальная длина волны излучения;  $\nu_0$  – минимальная частота, при которой возможен фотоэффект.

- Масса фотона:

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}.$$

- Импульс фотона:

$$p = \frac{h\nu}{c}.$$

- Давление, производимое светом при нормальном падении на поверхность:

$$p = \frac{N h \nu}{c} (1 + \rho) = \omega (1 + \rho),$$

где  $N h \nu$  – энергия всех фотонов, падающих на единицу поверхности в единицу времени;  $\rho$  – коэффициент отражения;  $\omega$  – объемная плотность энергии излучения.

### Задачи к разделу «Оптика»

1. Монохроматический луч падает нормально на боковую поверхность призмы и выходит из нее отклоненным на угол  $\alpha = 27^\circ$ . Показатель преломления материала призмы для этого луча  $n = 1,55$ . Найти преломляющий угол призмы. Пояснить рисунком.
2. Преломляющий угол равнобедренной призмы равен  $\theta = 12^\circ$ . Монохроматический луч падает на боковую грань под углом  $\alpha = 11^\circ$ . Найти угол отклонения луча от первоначального направления, если показатель преломления материала призмы  $n = 1,5$ .
3. Показатель преломления материала призмы для некоторого монохроматического луча равен  $n = 1,5$ . Каков должен быть наибольший угол падения этого луча на призму, чтобы при выходе луча из нее наступило полное внутреннее отражение? Преломляющий угол призмы  $\theta = 43^\circ$ .
4. Пучок света скользит вдоль боковой грани равнобедренной призмы. При каком предельном преломляющем угле призмы преломленные лучи претерпят полное внутреннее отражение на второй боковой грани? Показатель преломления материала призмы для этих лучей равен  $n = 1,65$ .
5. Человек, рост которого  $h = 1,83 \text{ м}$  находится на расстоянии  $L = 5,85 \text{ м}$  от столба, высота которого  $H = 7,5 \text{ м}$ . На каком расстоянии от себя человек должен положить на землю горизонтально маленькое плоское зеркало, чтобы видеть в нем изображение верхушки столба.
6. Точка движется по окружности с постоянной по модулю линейной скоростью  $V = 0,2 \text{ м/с}$  вокруг главной оптической оси собирающей линзы в плоскости, перпендикулярной оси и отстоящей от линзы на расстоянии, в  $k = 1,45$  раза большем фокусного. Центр окружности лежит на главной оптической оси линзы. Найти линейную скорость движения изображения.
7. На дифракционную решетку длиной  $l = 1,5$ , содержащей  $N = 300$  штрихов, падает нормально монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 550 \text{ нм}$ . Определить: 1) число максимумов, наблюдаемых в спектре дифракционной решетки; 2) угол, соответствующий последнему максимуму.
8. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$  на экран,

находящийся от решетки на расстоянии  $L = 1$  м. С помощью линзы, расположенной вблизи решетки, проецируется дифракционная картина, причем первый главный максимум наблюдается на расстоянии  $x = 1,5$  см от центрального максимума. Определить число штрихов на 1 см дифракционной решетки.

9. Для измерения показателя преломления газа в одно из плеч интерферометра помещена закрытая с обеих сторон откачанная до высокого вакуума стеклянная трубка длиной  $L = 14$  см. При заполнении трубки газом для длины волны  $\lambda = 400$  нм, интерференционная картина сместилась на  $n = 22$  полосы. Определить показатель преломления газа.

10. В опыте Юнга расстояние между щелями  $d = 0,4$  мм, а до экрана  $l = 3,1$  м. На щели падает монохроматическая волна длиной волны  $\lambda = 0,41$  мкм. На пути одного из лучей перпендикулярно лучу поместили стеклянную пластинку толщины  $b = 5$  мкм. При этом центральная светлая полоса смещается в положение, первоначально занимаемое пятой светлой полосой. Определить показатель преломления пластинки. Меняется ли ширина интерференционной полосы в зависимости от помещения пластинки?

11. На стеклянный клин с показателем преломления  $n = 1,7$  нормально падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 400$  нм. Определить угол между поверхностями клина, если расстояние между двумя соседними интерференционными минимумами в отраженном свете увеличивается на  $b = 2$  мм, если длина волны падающего света увеличивается в 1,5 раза.

12. На столе лежит лист бумаги. Луч света, падающий на бумагу под углом  $i = 30^\circ$ , создает на ней светлое пятно. На сколько сместится это пятно, если на бумагу положить стеклянную пластинку толщиной  $d = 5$  см?

13. В опыте Юнга на пути одного из лучей помещалась тонкая стеклянная пластинка, вследствие чего центральная светлая полоса смещалась в положение, первоначально занятое светлой полосой пятого порядка. Показатель преломления стекла 1,5. Длина волны 600 нм. Какова толщина пластинки?

14. Луч падает под углом  $i = 60^\circ$  на стеклянную пластинку толщиной  $d = 30$  мм. Определить боковое смещение луча после выхода из пластинки.

15. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от газоразрядной трубки. Чему должна быть равна постоянная дифракционной решетки, чтобы в направлении  $\varphi = 41^\circ$  совпадали максимумы двух линий:  $\lambda_1 = 656,3\text{нм}$  и  $\lambda_2 = 410,2\text{нм}$ ?
16. Пучок параллельных лучей падает на стеклянную пластинку под углом  $i = 60^\circ$ . Ширина пучка в воздухе равна  $10\text{см}$ . Определить ширину пучка в стекле.
17. Расстояние от лампочки до экрана  $L = 1\text{м}$ . На каком расстоянии от лампочки нужно поставить собирающую линзу с фокусным расстоянием  $f = 24\text{см}$ , чтобы получить на экране резкое изображение лампочки?
18. На щель шириной  $20\text{мкм}$  падает нормально параллельный пучок света с длиной волны  $500\text{нм}$ . Найти ширину центрального дифракционного максимума на экране, расположенном на расстоянии  $L = 1\text{м}$  от щели.
19. Плоско-выпуклая линза с радиусом кривизны  $R = 30\text{см}$  и показателем преломления  $n = 1,5$  дает изображение предмета с увеличением, равным 2. Найти расстояния до предмета  $a_1$  и до изображения  $a_2$  от линзы.
20. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Угол дифракции для натриевой линии ( $\lambda = 589\text{нм}$ ) в спектре первого порядка составляет  $18^\circ$ . Некоторая линия дает в спектре второго порядка угол дифракции  $24^\circ$ . Найти длину волны этой линии.
21. Фокусное расстояние собирающей линзы  $f = 10\text{см}$ . На каком расстоянии  $a_1$  от линзы нужно поместить предмет, чтобы его мнимое изображение получилось на расстоянии  $a_2 = 25\text{см}$  от линзы?
22. Фокусное расстояние линзы  $f = 20\text{см}$ . Расстояние предмета от линзы  $a = 10\text{см}$ . Определить расстояние от линзы до предмета, если 1) линза собирающая; 2) линза рассеивающая.
23. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Под некоторым углом видна линия с длиной волны  $\lambda = 440\text{нм}$  в спектре третьего порядка. Будут ли видны под этим же углом какие-либо спектральные линии в видимом интервале от  $380\text{нм}$  до  $760\text{нм}$ ?
24. На расстоянии  $a_1 = 15\text{см}$  от двояковыпуклой линзы, оптическая сила которой равна  $10$  диоптрий, поставлен

перпендикулярно к оптической оси предмет высотой  $y_1 = 2\text{см}$ . Найти расстояние  $a_2$  до изображения и его высоту.

25. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от газоразрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию в спектре третьего порядка накладывается красная линия гелия ( $\lambda = 670\text{нм}$ ) спектра второго порядка?

26. Луч света, падая из воздуха на поверхность воды, частично отражается, частично преломляется. При каком угле падения отраженный луч перпендикулярен к преломленному лучу?

27. На тонкую пленку в направлении нормали к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 500\text{нм}$ . Отраженный от нее свет максимально усилен вследствие интерференции. Определить минимальную толщину  $d_{\min}$  пленки, если показатель преломления материала пленки  $n = 1,4$ .

28. На тонкий стеклянный клин падает нормально параллельный пучок света с длиной волны  $\lambda = 500\text{нм}$ . Расстояние между соседними темными интерференционными полосами в отраженном свете  $\Delta x = 0,5\text{мм}$ . Определить угол  $\gamma$  между поверхностями клина. Показатель преломления материала, из которого изготовлен клин,  $n = 1,6$ .

29. Если расстояние предмета от линзы  $a_1 = 36\text{см}$ , то высота изображения  $y_1 = 5\text{см}$ , если же это расстояние  $a_2 = 24\text{см}$ , то высота изображения  $y_2 = 10\text{см}$ . Определить фокусное расстояние линзы.

30. Найти угол между третьим и пятым интерференционными минимумами на экране, расположенном на расстоянии  $2\text{м}$  от источников когерентных световых волн. Длина волны света  $\lambda = 0,6\text{мкм}$ , расстояние между когерентными источниками  $d = 0,2\text{мм}$ .

31. Фокусное расстояние линзы  $f = 20\text{см}$ . Расстояние предмета от линзы  $a_1 = 10\text{см}$ . Определить расстояние  $a_2$  от изображения до линзы, если линза : 1) рассеивающая, 2) собирающая.

32. На дифракционную решетку, содержащую  $600$  штрихов на  $1\text{мм}$ , падает нормально монохроматический свет с длиной волны  $0,546\text{мкм}$ . Определить изменение угла отклонения лучей второго дифракционного максимума, если взять решетку со  $100$  штрихами на  $1\text{мм}$ .

33. Луч света переходит из стекла в воду. Угол падения луча на поверхность границы раздела между стеклом и водой  $i = 30^\circ$ . Определить угол преломления. При каком наименьшем значении угла падения луч полностью отразится?
34. На гладкую глицериновую пленку толщиной  $d = 1,5 \text{ мкм}$  нормально к ее поверхности падает белый свет. Определить длины волн  $\lambda$  лучей видимого участка спектра ( $380 - 760 \text{ нм}$ ), которые будут ослаблены в результате интерференции отраженных лучей.
35. Луч света падает перпендикулярно на боковую грань равнобедренной стеклянной призмы с преломляющим углом  $\gamma = 30^\circ$ . Найти угол отклонения луча от первоначального направления распространения на выходе из призмы.
36. На тонкий стеклянный клин ( $n = 1,52$ ) с углом между поверхностями  $\gamma = 5'$  падает нормально пучок монохроматического света длиной волны  $0,591 \text{ мкм}$ . Сколько темных интерференционных полос приходится на  $1 \text{ см}$  длины клина?
37. Постоянная дифракционной решетки в  $n = 4$  раза больше длины световой волны, падающей перпендикулярно на ее поверхность. Определить угол  $\alpha$  между двумя первыми симметричными дифракционными максимумами.
38. На непрозрачную пластинку с узкой щелью падает нормально плоская световая волна длиной  $\lambda = 0,585 \text{ мкм}$ . Найти ширину щели, если угол отклонения лучей, соответствующих второму максимуму, равен  $10^\circ$ .
39. Найти наименьший угол падения монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$  на мыльную пленку ( $n = 1,4$ ) толщиной  $d = 0,1 \text{ мкм}$ , при котором пленка в отраженном свете кажется темной.
40. Расстояние  $L$  от щелей до экрана в опыте Юнга равно  $1 \text{ м}$ . Определить расстояние между щелями, если на отрезке длиной  $l = 1 \text{ см}$  укладывается  $N = 10$  темных интерференционных полос. Длина волны  $\lambda = 0,7 \text{ мкм}$ .
41. Постоянная дифракционной решетки равна  $2,8 \text{ мкм}$ . Определить наибольший порядок спектра для красной линии с длиной волны  $700 \text{ нм}$ , общее число главных максимумов и угол отклонения последнего дифракционного максимума.

42. На тонкий стеклянный клин ( $n = 1,52$ ) с углом между поверхностями  $\gamma = 5'$  падает нормально пучок монохроматического света длиной волны  $0,591\text{мкм}$ . Сколько темных интерференционных полос приходится на  $1\text{см}$  длины клина?
43. На щель шириной  $a = 0,1\text{мм}$  падает нормально параллельный пучок белого света ( $380\text{нм} < \lambda < 760\text{нм}$ ). Найти ширину третьего дифракционного максимума на экране, расположенном от щели на расстоянии  $2\text{м}$ .
44. Линза с фокусным расстоянием  $f = 16\text{см}$  дает резкое изображение предмета при двух положениях, расстояние между которыми  $60\text{см}$ . Найти расстояние от предмета до экрана.
45. На дифракционную решетку, содержащую  $100$  штрихов на один миллиметр, падает нормально монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум третьего порядка. Чтобы навести трубу на другой максимум того же порядка, ее нужно повернуть на угол  $\Delta\alpha = 20^\circ$ . Определить длину волны.
46. Дифракционная решетка, освещенная нормально падающим монохроматическим светом, отклоняет спектр второго порядка на угол  $41^\circ$ . На какой угол она отклоняет спектр третьего порядка?
47. Собирающая линза с фокусным расстоянием  $f = 25\text{см}$  проецирует изображение предмета на экран, отстоящем от линзы на расстоянии  $L = 5\text{м}$ . Экран придвинули к линзе на  $\Delta L = 18\text{см}$ . На сколько следует переместить предмет, чтобы опять получить резкое изображение предмета?
48. На дифракционную решетку, содержащую  $500$  штрихов на одном мм, падает в направлении нормали к ее поверхности белый свет. Определить ширину спектра первого порядка на экране, расположенном на расстоянии  $3\text{м}$  от решетки. Границы видимого интервала:  $380 - 760\text{нм}$ .
49. Двояковыпуклая линза, ограниченная сферическими поверхностями одинакового радиуса кривизны  $R_1 = R_2 = 12\text{см}$ , поставлена на такое расстояние от предмета, что изображение на экране получилось в два раза больше предмета. Определить расстояние от предмета до экрана, если показатель преломления линзы составляет  $1,5$ .

50. Пластинку кварца толщиной  $d = 2\text{мм}$  поместили между поляризатором и анализатором с параллельными плоскостями, в результате чего интенсивность света, вышедшего из анализатора, уменьшилась в четыре раза. Какова должна быть толщина кварцевой пластинки, чтобы монохроматический свет, с которым проводился опыт, не вышел из анализатора?

51. Линза с фокусным расстоянием  $f = 16\text{см}$  дает резкое изображение предмета при двух положениях, расстояние между которыми  $60\text{см}$ . Найти расстояние от предмета до экрана.

52. Раскаленная металлическая поверхность площадью  $S = 10\text{см}^2$  излучает в одну минуту энергию  $W = 40\text{кДж}$ . Температура поверхности равна  $T = 2500\text{К}$ . Найти: 1) каково было бы излучение этой поверхности, если бы она была абсолютно черной; 2) каково отношение энергетических светимостей этой поверхности и абсолютно черного тела при данной температуре.

53. Диаметр вольфрамовой спирали в электрической лампочке равен  $d = 0,3\text{мм}$ , длина спирали  $l = 5\text{см}$ . При включении лампочки в цепь напряжением  $U = 127\text{В}$  через лампочку течет ток силой  $I = 0,31\text{А}$ . Найти температуру лампочки. Считать, что по установлении равновесия все выделяющееся тепло теряется в результате лучеиспускания. Отношение энергетических светимостей вольфрама и абсолютно черного тела считать для этой температуры равным  $k = 0,31$ .

54. Температура абсолютно черного тела изменилась при нагревании от  $T_1 = 1000\text{К}$  до  $T_2 = 3000\text{К}$ .

1) Во сколько раз увеличилась при этом его энергетическая светимость?

2) На сколько изменилась при этом длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости?

3) Во сколько раз увеличилась его максимальная спектральная плотность энергетической светимости?

55. Температура вольфрамовой спирали в электрической лампочке мощностью  $P = 25\text{Вт}$  равна  $T = 2450\text{К}$ . Отношение ее энергетической светимости к энергетической светимости абсолютно черного тела при данной температуре  $k = 0,3$ . Найти площадь  $S$  излучающей поверхности спирали.

56. Имеются два абсолютно черных тела. Температура одного из них  $T_1 = 2500\text{K}$ . Найти температуру другого, если длина волны, отвечающая максимуму его лучеиспускательной способности, на  $\Delta\lambda = 0,50\text{мкм}$  больше длины волны, соответствующей максимуму излучения первого тела.
57. Будет ли иметь место фотоэффект, если на поверхность серебра направить ультрафиолетовые лучи с длиной волны  $300\text{нм}$ ? Работа выхода для серебра  $4,28\text{эВ}$ .
58. Фотон с энергией  $0,4\text{МэВ}$  рассеялся под углом  $90^\circ$  на свободном электроны. Определить энергию рассеянного фотона и кинетическую энергию электрона.
59. Фотон с энергией  $0,25\text{МэВ}$  рассеялся на свободном электроны. Энергия рассеянного фотона  $0,2\text{МэВ}$ . Определить угол рассеяния.
60. Какая доля энергии фотона израсходована на работу вырывания фотоэлектрона, если красная граница фотоэффекта равна  $307\text{нм}$  и кинетическая энергия фотоэлектрона  $1\text{эВ}$ ?
61. Параллельный пучок монохроматических лучей с длиной волны  $\lambda = 662\text{нм}$  падает на зачерненную поверхность и производит давление  $3 \cdot 10^{-7}\text{Па}$ . Определить концентрацию фотонов (число фотонов в единице объема светового пучка).
62. Электромагнитное излучение с длиной волны  $\lambda = 0,38\text{мкм}$  падает на фотоэлемент, находящийся в режиме насыщения. Спектральная чувствительность фотоэлемента по лучистому потоку (отношение силы фототока к лучистому потоку)  $g = 4,8\text{мкА/Вт}$ . Найти число фотонов, приходящихся на каждый выбитый электрон.
63. Угол рассеяния фотона при эффекте Комптона  $\theta = 90^\circ$ . Угол, под которым вылетел электрон,  $\varphi = 30^\circ$ . Определить энергию рассеянного фотона.
64. Фотон рассеялся под углом  $\theta = 120^\circ$  на покоившемся свободном электроны, в результате чего электрон получил энергию  $0,45\text{МэВ}$ . Найти энергию фотона до рассеяния.
65. Вычислить скорость, которую приобретает атом водорода в результате излучения кванта света при переходе электрона со второго уровня на первый. Масса атома водорода  $m = 1,674 \cdot 10^{-27}\text{кг}$ .
66. Площадь поверхности вольфрамовой нити накала лампы мощностью  $25\text{Вт}$  равна  $0,403\text{см}^2$ , температура  $2177^\circ\text{C}$ . Во

сколько раз меньше энергии излучает лампа по сравнению с абсолютно черным телом с той же площадью и температурой. Считать, что все выделяющееся количество тепла теряется посредством излучения.

67. Угол рассеяния фотона  $\theta = 90^\circ$ . Угол, под которым вылетел электрон,  $\varphi = 30^\circ$ . Определить энергию  $\varepsilon$  падающего фотона.

68. Вычислить истинную температуру вольфрамовой раскаленной нити, если радиационный пирометр показывает температуру  $T_{рад} = 2500\text{K}$ . Считать, что поглощательная способность  $a_T$  для вольфрама не зависит от частоты излучения и равна 0,35.

69. Определить температуру  $T$  и энергетическую светимость (интегральную лучеиспускательную способность)  $R$ , абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны  $\lambda_{max} = 600\text{нм}$ .

70. Как и во сколько раз уменьшится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого света ( $\lambda_{кр} = 760\text{нм}$ ) на фиолетовую ( $\lambda_{ф} = 380\text{нм}$ )?

71. При нагревании тела длина волны, на которую приходится максимум излучательной способности, изменилась от 1,45 мкм до 1,16 мкм. На сколько изменилась спектральная плотность энергетической светимости тела?

72. На металлическую пластинку направлен пучок ультрафиолетовых лучей ( $\lambda = 0,2\text{мкм}$ ). Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов  $U_{min} = 2,2\text{В}$ . Определить работу выхода  $A$  электронов из металла.

73. Плоская вольфрамовая пластинка освещается светом с длиной волны 0,2 мкм. Найти напряженность однородного задерживающего поля вне пластинки, если фотоэлектрон может удалиться от нее на расстояние  $l = 4\text{см}$ .

74. Абсолютно черное тело имеет температуру  $T_1 = 500\text{K}$ . Какова будет температура  $T_2$  тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в  $n = 5$  раз?

75. Из смотрового окошка печи излучается поток энергии  $\Phi_e = 4\text{кДж/мин}$ . Определить температуру  $T$  печи, если площадь окошка  $S = 8\text{см}^2$ .

76. Какая энергия излучается за  $1 \text{ мин}$  с  $1 \text{ см}^2$  абсолютно черного тела, если максимум спектральной плотности энергетической светимости приходится на длину волны  $0,6 \text{ мкм}$ ?
77. Красная граница фотоэффекта для цезия  $\lambda_0 = 640 \text{ нм}$ . Определить максимальную кинетическую энергию  $W_k$  фотоэлектронов в электронвольтах, если на цезий падают лучи с длиной волны  $\lambda = 200 \text{ нм}$ .
78. Выбиваемые светом при фотоэффекте электроны полностью задерживаются обратным потенциалом  $4 \text{ В}$ . Красная граница фотоэффекта  $0,6 \text{ мкм}$ . Определить частоту падающего света.
79. Температура абсолютно черного тела  $T = 2000 \text{ К}$ . Определить длину волны  $\lambda_m$ , на которую приходится максимум энергии излучения, и спектральную плотность энергетической светимости  $(r_{\lambda, T})_{\text{max}}$  для этой длины волны.
80. Поток излучения абсолютно черного тела  $\Phi_e = 10 \text{ кВт}$ , максимум энергии излучения приходится на длину волны  $\lambda_m = 0,8 \text{ мкм}$ . Определить площадь  $S$  излучающей поверхности.
81. При какой температуре максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела приходится на длину волны  $0,642 \text{ мкм}$ ? Найти энергетическую светимость абсолютно черного тела при данной температуре.
82. Поверхность цинкового фотокатода освещается монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 0,28 \text{ мкм}$ . Определить суммарный импульс, сообщаемый фотокатоду, если известно, что фотоэлектрон вылетает навстречу падающему свету.
83. Будет ли иметь место фотоэффект, если на поверхность серебра направить ультрафиолетовые лучи с длиной волны  $300 \text{ нм}$ ? Работа выхода для серебра  $4,28 \text{ эВ}$ .

# АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

## Атомная физика

- Формула Бальмера для частот излучения атома водорода:

$$\nu = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где  $R = 3,29 \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{с}}$  – постоянная Ридберга;  $\nu$  – частота спектральных линий в спектре атома водорода;  $m$  определяет серию ( $m = 1; 2; 3, \dots$ );  $n$  определяет отдельные линии соответствующей серии ( $n = m + 1, m + 2, \dots$ ):  $m = 1$  (серия Лаймана),  $m = 2$  (серия Бальмера)  $m = 3$  (серия Пашена),  $m = 4$  (серия Брэкета),  $m = 5$  (серия Пфунда),  $m = 6$  (серия Хэмфри).

- Первый постулат Бора:

$$m_e v r_n = n \hbar = n \frac{h}{2\pi},$$

где  $m_e$  – масса электрона;  $v$  – скорость электрона на  $n$ -ой орбите радиусом  $r_n$ ;  $h$  – постоянная Планка.

- Второй постулат Бора:

$$h\nu = E_n - E_m,$$

где  $n$  – номер начальной орбиты;  $m$  – номер конечной орбиты;  $E_n$  – энергия стационарного состояния атома до излучения (поглощения);  $E_m$  – энергия стационарного состояния атома после излучения (поглощения).

- Энергия электрона на  $n$ -ой стационарной орбите:

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{z^2 m_e e^4}{8 h^2 \varepsilon_0^2},$$

где  $z$  – порядковый номер элемента в периодической системе Менделеева;  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная.

## Элементы квантовой механики

- Импульс частицы:

$$p = \frac{h}{\lambda},$$

где  $h$  – постоянная Планка;  $\lambda$  – длина волны частицы.

- Соотношение неопределенностей Гейзенберга для координаты и импульса частицы:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h;$$

$$\Delta y \cdot \Delta p_y \geq h;$$

$$\Delta z \cdot \Delta p_z \geq h,$$

где  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  – неопределенности координат;  $\Delta p_x, \Delta p_y, \Delta p_z$  – неопределенности соответствующих проекций импульса частицы на оси координат.

- Соотношение неопределенностей для энергии и времени:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h,$$

где  $\Delta E$  – неопределенность энергии;  $\Delta t$  – время пребывания системы в данном состоянии.

- Вероятность обнаружения частицы в объеме  $dV$ :

$$dW = |\Psi|^2 \cdot dV,$$

где  $\Psi$  – волновая функция.

- Общее уравнение Шредингера:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \Delta \Psi + U(x, y, z, t) \cdot \Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t},$$

где  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ;  $h$  – постоянная Планка;  $m$  – масса частицы;  $U(x, y, z, t)$  – потенциальная функция частицы в силовом поле;  $\Delta \Psi = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2}$  – оператор Лапласа;  $i$  – мнимая единица.

- Уравнение Шредингера для стационарных состояний:

$$\Delta\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U) \cdot \Psi = 0 ,$$

где  $\Psi$  – волновая функция для стационарного состояния;  $E$  – полная энергия частицы в стационарном поле.

- Уравнение Шредингера для гармонического осциллятора:

$$\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2}\right) \cdot \Psi = 0 ,$$

где  $m$  – масса частицы;  $\omega_0$  – собственная частота колебаний осциллятора;  $x$  – отклонение от положения равновесия;  $\frac{m\omega_0^2 x^2}{2}$  – оператор потенциальной энергии;  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  – постоянная Планка;  $E$  – полная энергия осциллятора;  $\Psi$  – волновая функция.

- Стационарное уравнение Шредингера для электрона в атоме водорода:

$$\Delta\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}\right) \cdot \Psi = 0 ,$$

где  $e$  – элементарный заряд;  $m$  – масса частицы;  $E$  – полная энергия электрона в атоме;  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  – оператор Лапласа;  $\Psi$  – волновая функция.

## Элементы физики атомного ядра и элементарных частиц

- Энергия связи:

$$E_{\text{св}} = \Delta m_{\text{я}} c^2 ,$$

где  $c$  – скорость света в вакууме; дефект массы ядра атома –  $\Delta m_{\text{я}} = [m_p z + m_n (A - z)] - m_{\text{я}}$ ;  $m_p$  – масса протона;  $m_n$  – масса нейтрона;  $z$  – число протонов в ядре атома;  $(A - z)$  – число нейтронов в ядре атома.

- Удельная энергия связи, т.е. энергия приходящаяся на один нуклон:

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{св}}}{A} .$$

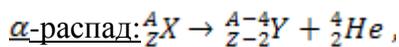
- Уравнение радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \text{ или } N = N_0 2^{-\frac{t}{T}} ,$$

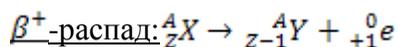
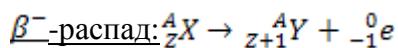
где  $N_0$  – начальное число радиоактивных ядер;  $N$  – число радиоактивных ядер, оставшихся к моменту времени  $t$ ;  $\lambda$  – постоянная радиоактивного распада;  $T$  – период полураспада

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} .$$

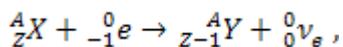
- Правила смещения:



где  $A$  – массовое число материнского ядра;  $Z$  – зарядовое число материнского ядра;  $\frac{A}{Z}X$  – материнское ядро;  $Y$  – дочернее ядро.



- Электронный захват:



где  $\frac{0}{0}\nu_e$  – нейтрино.

### Задачи к разделу «Атомная и ядерная физика»

1. В каких пределах должна лежать длина волны монохроматического света, чтобы при возбуждении атомов водорода квантами этого излучения радиус орбиты электрона увеличилась в девять раз?
2. Какую наименьшую энергию надо сообщить атому водорода, находящемуся в основном состоянии, чтобы он смог излучить фотон, соответствующий первой линии серии Бальмера?
3. В каких пределах должна лежать энергия бомбардирующих электронов, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов спектр водорода имел только одну линию?
4. Какую наименьшую энергию должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов спектр водорода имел три спектральные линии?
5. В каких пределах должна лежать длина волны монохроматического света, чтобы при возбуждении атомов водорода квантами этого света наблюдались три спектральные линии?
6. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной атомарным водородом. Постоянная решетки  $5\text{мкм}$ . Какому переходу электрона соответствует спектральная линия, наблюдаемая при помощи этой решетки в спектре пятого порядка под углом  $41^\circ$ ?
7. Заполненная электронная оболочка атома характеризуется квантовым числом  $n = 3$ . Найти число электронов на этой оболочке, которые имеют следующие одинаковые квантовые числа: 1)  $m_s = +\frac{1}{2}$  2)  $m = +1$ .
8. В какое квантовое состояние ( $n = ?$ ) переходит атом водорода, находящийся в основном состоянии, при поглощении фотона с энергией  $12,1\text{эВ}$ ? Как изменяется при этом радиус его орбиты?
9. Найти коротковолновую границу непрерывного рентгеновского спектра, если известно, что изменение приложенного к рентгеновской трубке напряжения на  $\Delta U = 23\text{кВ}$  увеличивает искомую длину волны в  $n = 2$  раза.
10. Найти радиус второй боровской орбиты в атоме водорода, скорость электрона на ней, численное значение кинетической, потенциальной и полной энергии электрона на этой орбите.

11. Невозбужденный атом водорода поглощает квант излучения с длиной волны  $\lambda = 102,6 \text{ нм}$ . Вычислить, пользуясь теорией Бора, радиус  $r$  электронной орбиты возбужденного атома водорода.

12. Вычислить по теории Бора период вращения электрона в атоме водорода, находящегося в первом возбужденном состоянии ( $n = 2$ ).

13. Определить первый потенциал возбуждения  $\varphi_1$  и энергию ионизации  $E_i$  атома водорода, находящегося в основном состоянии.

14. Найти наибольшую  $\lambda_{\max}$  и наименьшую  $\lambda_{\min}$  длины волны в ультрафиолетовой серии атома водорода (серия Лаймана).

15. При переходе электрона в атоме водорода из возбужденного состояния в основное радиус боровской орбиты уменьшился в 25 раз. Определить длину волны излученного фотона.

16. Вычислить по теории Бора радиус  $r_2$  второй стационарной орбиты и скорость  $V_2$  электрона на этой орбите для атома водорода.

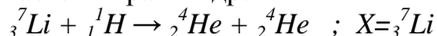
17. Определить максимальную энергию  $\mathcal{E}_{\max}$  фотона серии Бальмера в спектре излучения атомарного водорода.

18. Определить энергию  $\mathcal{E}$  фотона, испускаемого атомом водорода при переходе электрона с третьей орбиты на вторую.

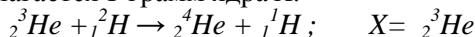
19. Электрон в атоме водорода находится на третьем энергетическом уровне. Определить кинетическую  $W_k$ , потенциальную  $W_n$  и полную  $E$  энергии электрона. Ответ выразить в электронвольтах.

20. Атом водорода находится в возбужденном состоянии с главным квантовым числом  $n = 3$ . Падающий фотон выбивает из атома электрон, сообщая ему кинетическую энергию  $2,5 \text{ эВ}$ . Вычислить энергию падающего фотона.

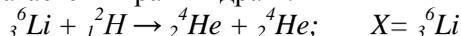
21. Какое количество воды можно нагреть от  $10^\circ \text{C}$  до кипения используя все тепло, выделяющееся при ядерной реакции, в которой разлагается 1 грамм ядра  $X$ .



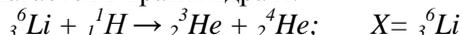
22. Какое количество воды можно нагреть от  $10^\circ \text{C}$  до кипения используя все тепло, выделяющееся при ядерной реакции, в которой разлагается 1 грамм ядра  $X$ .



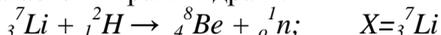
23. Какое количество воды можно нагреть от  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до кипения используя все тепло, выделяющееся при ядерной реакции, в которой разлагается  $1$  грамм ядра  $X$ .



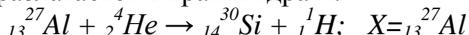
24. Какое количество воды можно нагреть от  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до кипения используя все тепло, выделяющееся при ядерной реакции, в которой разлагается  $1$  грамм ядра  $X$ .



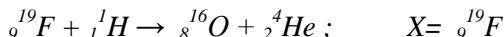
25. Какое количество воды можно нагреть от  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до кипения используя все тепло, выделяющееся при ядерной реакции, в которой разлагается  $1$  грамм ядра  $X$ .



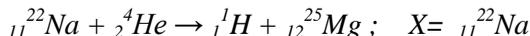
26. Какое количество воды можно нагреть от  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до кипения используя все тепло, выделяющееся при ядерной реакции, в которой разлагается  $1$  грамм ядра  $X$ .



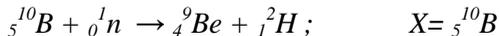
27. Какое количество массы свинца можно нагреть от температуры  $98\text{ }^{\circ}\text{C}$  до температуры плавления, используя все тепло, выделяющееся при ядерной реакции, в которой разлагается  $1$  грамм ядра  $X$ .



29. Какое количество массы свинца можно нагреть от температуры  $98\text{ }^{\circ}\text{C}$  до температуры плавления, используя все тепло, выделяющееся при ядерной реакции, в которой разлагается  $1$  грамм ядра  $X$ .



30. Какое количество массы свинца можно нагреть от температуры  $98\text{ }^{\circ}\text{C}$  до температуры плавления, используя все тепло, выделяющееся при ядерной реакции, в которой разлагается  $1$  грамм ядра  $X$ .

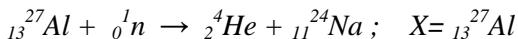


31. Какое количество массы свинца можно нагреть от температуры  $98\text{ }^{\circ}\text{C}$  до температуры плавления, используя все тепло, выделяющееся при ядерной реакции, в которой разлагается  $1$  грамм ядра  $X$ .

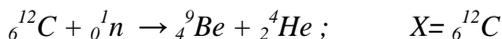


32. Какое количество массы свинца можно нагреть от температуры  $98\text{ }^{\circ}\text{C}$  до температуры плавления, используя все тепло,

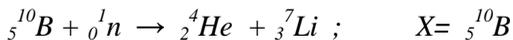
выделяющееся при ядерной реакции, в которой разлагается 1 грамм ядра X.



33. Какое количество массы свинца можно нагреть от температуры 98 °C до температуры плавления, используя все тепло, выделяющееся при ядерной реакции, в которой разлагается 1 грамм ядра X.



34. Какое количество массы свинца можно нагреть от температуры 98 °C до температуры плавления, используя все тепло, выделяющееся при ядерной реакции, в которой разлагается 1 грамм ядра X.



35. Период полураспада изотопа  ${}_{33}^{74}\text{As}$  равен 17,5 суток. Определить постоянную распада и среднюю продолжительность жизни этого изотопа.

36. Определить массу  $m$  изотопа  ${}_{53}^{131}\text{I}$ , имеющего активность  $A = 37 \cdot 10^9$  Бк.

37. Из каждого миллиарда ядер препарата радиоактивного изотопа каждую секунду распадается 1600 ядер. Определить период  $T_{1/2}$  полураспада этого изотопа.

38. Определить, какая доля радиоактивного изотопа  ${}_{89}^{225}\text{Ac}$  распадается в течение времени  $t = 6$  суток?

39. Найти среднюю продолжительность жизни атома радиоактивного изотопа кобальта  ${}_{27}^{60}\text{Co}$ .

40. На сколько процентов уменьшится активность препарата радона  ${}_{86}^{222}\text{Rn}$  за время  $t = 2$  суток?

41. Активность  $A$  некоторого изотопа за время  $t = 10$  суток уменьшилась на 20%. Определить период полураспада  $T_{1/2}$  этого

изотопа.

42. Счетчик  $\alpha$ - частиц, установленный вблизи радиоактивного изотопа, при первом измерении регистрировал  $N_1 = 1400$  частиц в минуту, а через время  $t = 4$  часа – только  $N_2 = 400$ . Определить период полураспада  $T_{1/2}$  изотопа.

43. Определить число ядер, распадающихся в течение времени: 1)  $t_1=1$  сутки; 2)  $t_2=1$  год, в радиоактивном препарате церия  $Ce_{58}^{144}$  массой  $m = 1$  кг.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Электричество	6
Задачи к разделу «Электричество»	18
Магнетизм	31
Задачи к разделу «Магнетизм»	48
Оптика	60
Задачи к разделу « Оптика»	70
Атомная и ядерная физика	80
Задачи к разделу «Атомная и ядерная физика»	86
СОДЕРЖАНИЕ	

## **Учебное пособие**

**Биктагиров Вахит Валиахметович**

кандидат химических наук, доцент

**Яковлева Елена Владимировна**

доктор педагогических наук, доцент

## **Задания по физике для самостоятельной работы студентов.**

### **Учебное пособие**

### **Часть 2.**

Корректор Белова И.М.

Худ. редактор Федорова Л.Г.

Сдано в набор 09.03.17.

Подписано в печать 13.03.17.

Бумага писчая. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 5,9. Тираж 100 экз.

Заказ № 39.

НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»,  
г. Нижнекамск, 423570, ул. 30 лет Победы, д. 5а.