

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

# ФИЗИКА

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА

ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Утверждено редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК  
2025

УДК 53(075.8)  
Ф503

Рецензенты:

канд. физ.-мат. наук, доцент *С. А. Погожих*  
канд. техн. наук, доцент *А. С. Сырнева*

Ф503      **Физика. Электромагнетизм. Колебания и волны. Волновая и квантовая оптика. Элементы квантовой механики :** учебное пособие / М. Р. Мирсияпов, Е. И. Кренева, В. Б. Уткин, Н. В. Чичерина. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2025. – 84 с.

ISBN 978-5-7782-5497-8

Пособие соответствует рабочей программе по физике, изучаемой в III семестре на МТФ, ФЛА, ФМА, АВТФ и в IV семестре на ФПМИ. Приведены контролирующие материалы расчетно-графических заданий и примеры их решения, а также вопросы к экзамену и стандартные задачи.

Предназначено для ликвидации задолженности студентами дневного отделения МТФ, ФЛА, ФМА, АВТФ, ФПМИ и устранения академической задолженности студентами других вузов при переводе в НГТУ.

УДК 53(075.8)

ISBN 978-5-7782-5497-8

© Мирсияпов М. Р., Кренева Е. И.,  
Уткин В. Б., Чичерина Н. В., 2025  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Введение.....                                                            | 4         |
| <b>1. Расчетно-графическое задание (РГЗ) .....</b>                       | <b>5</b>  |
| 1.1. Правила оформления работ и решения задач .....                      | 5         |
| 1.2. Примеры решения задач .....                                         | 6         |
| 1.3. Таблицы вариантов .....                                             | 31        |
| 1.4. Задачи РГЗ .....                                                    | 32        |
| <b>2. Экзамен, зачет.....</b>                                            | <b>43</b> |
| 2.1. Вопросы к экзамену в III семестре для студентов МТФ, ФЛА, ФМА ..... | 43        |
| 2.2. Вопросы к зачету в III семестре для студентов АВТФ .....            | 45        |
| 2.3. Вопросы к экзамену в IV семестре для студентов ФПМИ .....           | 47        |
| 2.4. Стандартные задачи к экзамену (зачету).....                         | 50        |
| 2.5. Структура и пример экзаменационного (зачетного) билета .....        | 54        |
| 2.6. Дистанционный формат проведения экзамена (зачета) .....             | 56        |
| Справочные сведения .....                                                | 68        |
| Библиографический список .....                                           | 82        |

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящее учебное пособие является продолжением работы: Мирсияпов М.Р., Кренева Е.И., Уткин В.Б., Чичерина Н.В. «Физика. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм», изданной в 2024 г. Пособие соответствует второй части рабочей программы по физике для студентов МТФ, ФЛА, ФМА, АВТФ, ФПМИ. В пособии приведены задачи и методы их решений по темам разделов: электромагнетизм, колебания и волны, волновая и квантовая оптика, элементы квантовой механики. Оно может быть использовано студентами других факультетов и вузов.

## **1. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ (РГЗ)**

Выполнение РГЗ является обязательной частью самостоятельной работы студента в курсе общей физики. Умение решать задачи является проверкой степени усвоения теоретического курса.

В настоящем пособии представлены примеры решения задач по всем разделам, включенным в РГЗ.

Студент должен решить 12 задач того варианта, номер которого выдает ему преподаватель, принимающий работу. Номер варианта необходимо согласовать при личной встрече с преподавателем либо через сообщение в DiSpase.

К решению задач РГЗ нужно приступать только после изучения теории по соответствующей теме.

### **1.1. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ**

1. Титульный лист к РГЗ оформляется по общим правилам.
2. Условия задач переписывать полностью без сокращений. Допустимо распечатать и вклеить текст условий задач. Само решение выполнять только рукописно.
3. Выполнить краткую запись условия, перевести все единицы измерений в СИ.
4. Сделать рисунок или чертеж, поясняющий решение задачи. Рисунки выполнять аккуратно при помощи чертежных инструментов; обозначения, указанные на рисунке, должны соответствовать обозначениям, используемым в решении задачи.
5. Решение задач должно быть подробным, с названием всех используемых законов и определений, с расшифровкой обозначений входящих в них величин. Все используемые формулы должны быть выведены, если они не являются законом или определением.

6. Необходимо выполнить решение в общем виде, получив расчетную формулу искомой величины через заданные в условии величины и табличные значения. Стараться обходиться без промежуточных вычислений.

7. Определить правильность полученной формулы, проверив ее размерность.

8. Выполнить расчеты, подставив в полученную формулу все численные значения. Оценить полученный результат.

В конце работы следует указать, какими учебными пособиями студент пользовался при выполнении работы.

После проверки РГЗ выполняется защита выполненной работы. На защите необходимо дать пояснения к решению, сформулировать и объяснить все используемые в решении формулы и обозначения.

## 1.2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

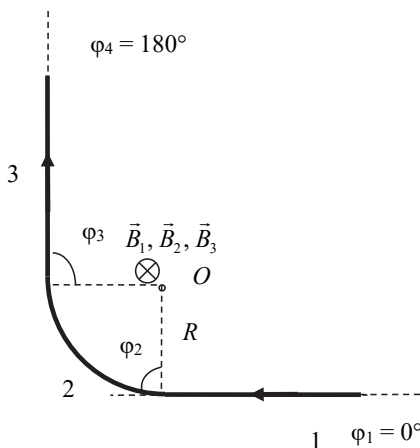
**Пример 1.** По бесконечному прямому проводу, согнутому так, как показано на рисунке, течет ток силой  $I$ . Используя закон Био – Савара – Лапласа, определить индукцию магнитного поля в точке  $O$ . Радиус изогнутой части проводника –  $R$ .

| Дано:   | СИ: |
|---------|-----|
| $I$     |     |
| $R$     |     |
| $B - ?$ |     |

### Решение

Для решения задачи воспользуемся принципом суперпозиции магнитных полей.

В нашем случае провод можно разбить на три части – два полубесконечных прямых проводника и четверть кругового тока. Тогда  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3$ , где  $\vec{B}_1$ ,  $\vec{B}_2$ ,  $\vec{B}_3$  – индукции в точке  $O$ , создаваемые током, текущим соответственно на каждом из участков провода.



Учитывая, что векторы  $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$  направлены в соответствии с правилом буравчика перпендикулярно плоскости чертежа «от нас»,  $\vec{B}$  направлен так же «от нас»:

$$B = B_1 + B_2 + B_3.$$

Определим магнитную индукцию поля, создаваемого участком 1 провода.

Магнитная индукция поля, создаваемая отрезком проводника с током на расстоянии  $r$  от него:  $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)$ .

Для участка 1 углы  $\varphi_1 = 0^\circ$ ,  $\varphi_2 = 90^\circ$ ,  $r = R$ . Следовательно,

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (\cos 0^\circ - \cos 90^\circ) = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}.$$

Для участка 3, соответственно, углы  $\varphi_3 = 90^\circ$ ,  $\varphi_4 = 180^\circ$ ,  $r = R$ . Следовательно,

$$B_3 = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (\cos 90^\circ - \cos 180^\circ) = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}.$$

Магнитная индукция поля в центре кругового витка с током равна

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}.$$

Участок 2 представляет собой четверть кругового тока, поэтому

$$B_2 = \frac{1}{4} \frac{\mu_0 I}{2R} = \frac{\mu_0 I}{8R}, \quad B = 2 \frac{\mu_0 I}{4\pi R} + \frac{\mu_0 I}{8R} = \frac{\mu_0 I}{2R} \left( \frac{1}{\pi} + \frac{1}{4} \right).$$

**Ответ:**  $B = \frac{\mu_0 I}{2R} \left( \frac{1}{\pi} + \frac{1}{4} \right).$

**Пример 2.** Электрон, ускоренный разностью потенциалов  $U = 400$  В, движется по окружности в однородном магнитном поле с магнитной индукцией  $B = 1,5$  мТл. Определить частоту  $n$  вращения электрона и радиус  $R$  окружности.

|                                     |                                |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Дано:</b>                        | <b>СИ:</b>                     |
| $U = 400 \text{ В}$                 |                                |
| $B = 1,5 \text{ мТл}$               |                                |
| $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ | $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$ |
| $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ |                                |
| $R, n - ?$                          |                                |

### Решение

На заряженную частицу в магнитном поле действует сила Лоренца. Если скорость частицы перпендикулярна линиям магнитной индукции, частица под действием силы Лоренца движется по окружности.

Величина силы Лоренца:  $\vec{F}_L = q[\vec{v}, \vec{B}]$

$$F_L = qvB \sin \alpha,$$

где  $v$  – скорость,  $B$  – магнитная индукция,  $q$  – заряд частицы,  $\alpha$  – угол между направлением скорости частицы и вектором  $B$ .

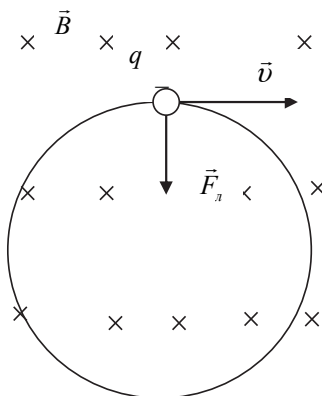
Направление силы Лоренца определяется по правилу левой руки: если левую руку расположить так, чтобы вектор магнитной индукции входил в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по движению положительно заряженной частицы, то большой палец будет указывать направление силы Лоренца.

Сила Лоренца сообщает частице центростремительное ускорение.

Тогда из 2-го закона Ньютона  $F_L = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow qvB \sin 90^\circ = m \frac{v^2}{R}$ .

$$\text{Отсюда } R = \frac{mv}{qB}.$$

Скорость частицы выразим из закона сохранения энергии. Так как кинетическую энергию частице сообщает электрическое поле, то  $\frac{mv^2}{2} = qU$ , где  $\frac{mv^2}{2}$  – кинетическая энергия частицы,  $qU$  – работа электрического поля.



Отсюда  $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$ .

Тогда  $R = \frac{m}{qB} \sqrt{\frac{2qU}{m}} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$

$$R = \frac{1}{1,5 \cdot 10^{-3}} \sqrt{\frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 400}{1,6 \cdot 10^{-19}}} = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 45 \text{ мм}.$$

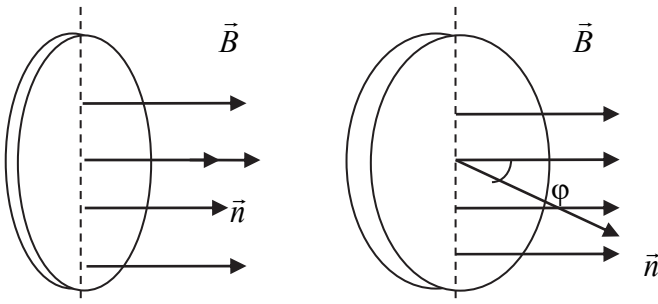
Период  $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m v}{qBv} = \frac{2\pi m}{qB}$ .

Частота  $n = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$ ,

$$n = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,0015}{2 \cdot 3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} = 4,2 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}.$$

**Ответ:**  $R = 45 \text{ мм}$ ,  $n = 4,2 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ .

**Пример 3.** Круглый проволоочный виток диаметром  $d$ , имеющий сопротивление  $R$ , находится в однородном магнитном поле, вектор индукции  $\vec{B}$  которого перпендикулярен плоскости витка. Найти заряд, который протечет по витку, если его плоскость повернуть на  $90^\circ$ .



|                              |                                                                                                                                           |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Дано:</b>                 | <b>Решение</b>                                                                                                                            |
| $d$                          | При повороте витка произойдет изменение магнитного потока. Вследствие этого в витке возникает ЭДС индукции, определяемая законом Фарадея: |
| $R$                          |                                                                                                                                           |
| $B$                          |                                                                                                                                           |
| $\varphi = 0 \dots 90^\circ$ |                                                                                                                                           |
| $q - ?$                      | $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}.$                                                                                                      |

Эта ЭДС индукции вызовет в рамке индукционный ток, мгновенное значение которого, согласно закону Ома для полной цепи, равно  $I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}$ ,

$R$  – сопротивление рамки. Тогда  $I_i R = -\frac{d\Phi}{dt}$ .

Так как мгновенное значение силы индукционного тока из определения силы тока  $I_i = \frac{dq}{dt}$ , то это выражение можно переписать в виде

$$\frac{dq}{dt} R = -\frac{d\Phi}{dt}, \text{ откуда}$$

$$dq = -\frac{d\Phi}{R}.$$

Проинтегрировав это выражение, найдем

$$\int_0^q dq = -\frac{1}{R} \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi, \text{ или } q = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R}.$$

По определению магнитного потока имеем  $\Phi = BS \cos \varphi$ , где  $S$  – площадь витка,  $\varphi$  – угол между нормалью к плоскости витка и линиями индукции.

$$\text{Площадь } S = \frac{\pi d^2}{4},$$

$$q = \frac{B\pi d^2}{4R} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2).$$

По условию  $\varphi_1 = 0$ ,  $\varphi_2 = 90^\circ$ , тогда

$$q = \frac{B\pi d^2}{4R} (\cos 0^\circ - \cos 90^\circ) = \frac{B\pi d^2}{4R},$$

$$[q] = \left[ \frac{B\pi d^2}{4R} \right] = \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}^2}{\text{Ом}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{м} \cdot \text{Ом}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{А}}{\text{А}^2 \cdot \text{Ом}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{А}^2 \cdot \text{Ом} \cdot \text{с}} = \text{А} \cdot \text{с} = \text{Кл}.$$

**Ответ:**  $q = \frac{B\pi d^2}{4R}.$

**Пример 4.** Складываются два колебания одинакового направления, выражаемые уравнениями  $x_1 = A_1 \cos \omega(t + \tau_1)$  и  $x_2 = A_2 \cos \omega(t + \tau_2)$ , где  $A_1 = 1$  см,  $A_2 = 2$  см,  $\tau_1 = 1/6$  с,  $\tau_2 = 1/2$  с,  $\omega = \pi$  рад/с. Определить начальные фазы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  составляющих колебаний; найти амплитуду  $A$  и начальную фазу  $\varphi$  результирующего колебания. Написать уравнение результирующего колебания и построить векторную диаграмму сложения амплитуд.

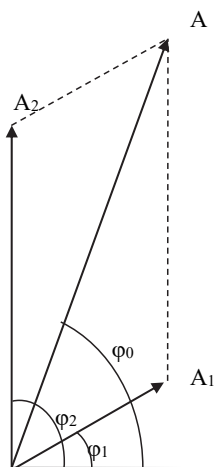
| Дано:                                                                                                                                                                      | СИ: | Решение                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $x_1 = A_1 \cos \omega(t + \tau_1)$<br>$x_2 = A_2 \cos \omega(t + \tau_2)$<br>$A_1 = 1$ см<br>$A_2 = 2$ см<br>$\tau_1 = 1/6$ с<br>$\tau_2 = 1/2$ с<br>$\omega = \pi$ рад/с |     | Для построения векторной диаграммы сложения двух колебаний одного направления надо фиксировать какой-либо момент времени. Обычно векторную диаграмму строят для момента времени $t = 0$ . Преобразовав оба уравнения к канонической форме $x = A \cos(\omega t + \varphi)$ , получим |
| $\varphi_1$ и $\varphi_2$ , $A$ , $\varphi$ – ?                                                                                                                            |     | $x_1 = A_1 \cos(\omega t + \omega \tau_1),$<br>$x_2 = A_2 \cos(\omega t + \omega \tau_2),$                                                                                                                                                                                           |

$$x_1 = A_1 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{6}\right), \quad x_2 = A_2 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{2}\right).$$

Отсюда видно, что оба складываемых гармонических колебания имеют одинаковую циклическую частоту  $\omega = \pi$  рад/с.

Начальные фазы первого и второго колебаний соответственно равны

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{6} \text{ рад}, \quad \varphi_2 = \frac{\pi}{2} \text{ рад}.$$



Изобразим векторы  $A_1$  и  $A_2$ . Для этого отложим отрезки длиной  $A_1 = 1 \cdot 3$  см и  $A_2 = 2 \cdot 3$  см под углами  $\varphi_1 = 30^\circ$  и  $\varphi_2 = 90^\circ$  к оси  $Ox$ . Результирующее колебание будет происходить с той же частотой  $\omega$  и амплитудой  $A$ , равной геометрической сумме амплитуд  $A_1$  и  $A_2$ :  $A = A_1 + A_2$ . Согласно теореме косинусов

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}.$$

Начальную фазу результирующего колебания можно также определить непосредственно из векторной диаграммы

$$\varphi = \arctg \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}.$$

Выполним вычисления:

$$A = \sqrt{1^2 + 2^2 + 2 \cdot 1 \cdot 2 \cos(30^\circ - 90^\circ)} = 2,65 \text{ см},$$

$$\varphi = \arctg \frac{1 \sin 30^\circ + 2 \sin 90^\circ}{1 \cos 30^\circ + 2 \cos 90^\circ} = \arctg 2,887 = 71^\circ.$$

Так как результирующее колебание является гармоническим и имеет ту же частоту, что и складываемые колебания, то его можно записать в виде  $x = 2,65 \cos(\pi t + 71^\circ)$  см.

**Ответ:**  $\varphi_1 = \frac{\pi}{6}$  рад,  $\varphi_2 = \frac{\pi}{2}$  рад,  $A = 2,65$  см,  $\varphi = 71^\circ$ .

**Пример 5.** Частота свободных колебаний некоторого маятника составляет  $\omega = 62$  рад/с. Определите его собственную частоту колебаний, если добротность колебательной системы составляет  $Q = 6$ .

|                                                                  |            |                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Дано:</b><br>$\omega = 62$ рад/с<br>$Q = 6$<br>$\omega_0 - ?$ | <b>СИ:</b> | <b>Решение</b><br>Частота затухающих колебаний<br>$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2},$ |
|------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|

где  $\omega_0$  – собственная частота колебаний,  $\beta$  – коэффициент затухания:

$$\omega_0 = \sqrt{\omega^2 + \beta^2}.$$

Добротность – характеристика, показывающая, во сколько раз запасы энергии в системе больше, чем потери энергии за один период колебаний.

Добротность пропорциональна отношению энергии  $W$  колебаний системы в произвольный момент времени  $t$  к убыли этой энергии за период  $\Delta W$ :

$$Q = 2\pi \frac{W(t)}{W(t) - W(t+T)} = 2\pi \frac{W}{\Delta W}.$$

Найдем связь между добротностью и логарифмическим декрементом затухания. При малых затуханиях  $\omega_0 \gg \beta$  энергия меняется по закону

$$W(t) = W_0 e^{-2\beta t}.$$

Найдем изменение энергии за один период колебаний:

$$\Delta W = W_0 e^{-2\beta t} - W_0 e^{-2\beta(t+T)} = W_0 e^{-2\beta t} (1 - e^{-2\beta T}) \approx W_0 e^{-2\beta t} 2\beta T,$$

так как  $e^{-2\beta T} \approx 1 - 2\beta T + \dots$ , если  $2\beta T \ll 1$ .

Подставим полученное выражение в добротность и учтем, что  $\lambda = \beta T$ :

$$Q = 2\pi \frac{W}{\Delta W} = 2\pi \frac{W_0 e^{-2\beta t}}{W_0 e^{-2\beta t} 2\beta T} = \frac{\pi}{\beta T}.$$

Период колебаний  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ , тогда  $Q = \frac{\omega}{2\beta} \Rightarrow \beta = \frac{\omega}{2Q}$ ,

$$\omega_0 = \sqrt{\omega^2 + \frac{\omega^2}{4Q^2}} = \omega \sqrt{1 + \frac{1}{4Q^2}},$$

$$\omega_0 = 62 \sqrt{1 + \frac{1}{4 \cdot 6^2}} = 62,2 \text{ рад/с.}$$

**Ответ:**  $\omega_0 = 62,2 \text{ рад/с.}$

**Пример 6.** Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 0,1 Гн и конденсатора емкостью 39,5 мкФ. Запишите уравнения зависимости силы тока в контуре и напряжения на конденсаторе от времени, если максимальное значение заряда на конденсаторе равно 3 мкКл.

**Дано:**

$$L = 0,1 \text{ Гн}$$

$$C = 39,5 \text{ мкФ}$$

$$\nu = 703 \text{ кГц}$$

$$q_0 = 3 \text{ мкКл}$$

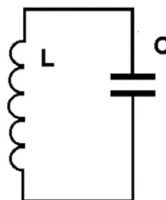
$$I(t), U(t) - ?$$

**СИ:**

$$3,95 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$7,03 \cdot 10^5 \text{ Гц}$$

$$3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$



**Решение**

При свободных гармонических колебаниях в контуре величина заряда на конденсаторе изменяется со временем по закону

$$q = q_0 \cos(\omega t + \varphi),$$

где  $q_0$  – амплитудное значение заряда на конденсаторе,  $\omega t + \varphi$  – фаза колебаний,  $\varphi$  – начальная фаза.

$$\text{Ток в контуре } I = \frac{dq}{dt} = -q_0 \omega \sin(\omega t + \varphi).$$

$$\text{Напряжение на конденсаторах } U_C = \frac{q}{C} = \frac{q_0}{C} \cos(\omega t + \varphi).$$

Циклическая частота  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ .

Период колебаний по формуле Томсона  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ ,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{3,95 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1}} = 503 \text{ рад/с},$$

$$U_0 = \frac{q_0}{C} = \frac{3 \cdot 10^{-6}}{3,95 \cdot 10^{-5}} = 0,076 \text{ В},$$

$$I_0 = q_0 \omega = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 503 = 1,51 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 1,51 \text{ мА}.$$

Тогда  $U_C = 0,076 \cos(503t + \varphi) \text{ В},$

$I = -1,51 \sin(503t + \varphi) \text{ мА}.$

**Ответ:**  $I = -1,51 \sin(503t + \varphi) \text{ мА}, U_C = 0,076 \cos(503t + \varphi) \text{ В}.$

**Пример 7.** Колебательный контур содержит конденсатор емкостью 1,2 нФ, катушку индуктивности 6 мкГн и активное сопротивление 5 Ом. Определить: 1) коэффициент затухания колебаний в контуре, 2) логарифмический декремент.

**Дано:**

$$L = 6 \text{ мкГн}$$

$$C = 1,2 \text{ нФ}$$

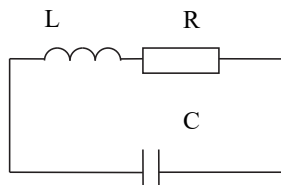
$$R = 5 \text{ Ом}$$

$\delta, \lambda - ?$

**СИ:**

$$6 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

$$1,2 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$



**Решение**

В контуре, обладающем активным сопротивлением, возникают свободные затухающие колебания.

При этом величина амплитуды заряда на конденсаторе изменяется со временем по закону  $q = q_0 e^{-\delta t}$ , где  $\delta$  – коэффициент затухания.

Для колебательного контура  $\delta = \frac{R}{2L}$ .

Логарифмический декремент затухания  $\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \delta T = \frac{1}{N_e}$ ,

где  $N_e$  – число колебаний, совершаемых за время уменьшения амплитуды в  $e$  раз.

Вычислим коэффициент затухания:

$$\delta = \frac{5}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-6}} = 4,17 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}.$$

Период колебаний  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ .

Собственная частота колебательного контура  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ с}^{-1}$ .

Частота  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \delta^2}$ ,

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \delta^2}}.$$

Логарифмический декремент затухания  $\lambda = \delta T = \delta \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \delta^2}}$ .

Подставляем в это выражение числовые значения:

$$\lambda = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 4,17 \cdot 10^5}{\sqrt{\frac{1}{6 \cdot 10^{-6} \cdot 1,2 \cdot 10^{-9}} - (4,17 \cdot 10^5)^2}} = 0,222.$$

**Ответ:**  $\delta = 4,17 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ ,  $\lambda = 0,222$ .

**Пример 8.** Уравнение незатухающих колебаний дано в виде  $x = \sin 4,5\pi t$  см. Найти смещение из положения равновесия и скорость точки, находящейся на расстоянии 40 м от источника колебаний, через

2 с после начала колебаний. Скорость распространения колебаний в данной среде принять 180 м/с.

|                                                                                      |            |                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Дано:</b><br>$x = \sin 4,5\pi t$ , см<br>$v = 180$ м/с<br>$l = 40$ м<br>$t = 2$ с | <b>СИ:</b> | <b>Решение</b><br>Уравнение гармонического колебания запишем в общем виде:<br>$x = A \sin(\omega t),$ |
| $\xi(l, t) - ?$ $\dot{\xi} - ?$                                                      |            | где $x$ – смещение материальной точки от положения равновесия,                                        |

$A$  – амплитуда,  $\omega$  – циклическая (круговая) частота,  $t$  – время.

Волна, распространяющаяся от источника колебаний, будет иметь ту же амплитуду и частоту.

Уравнение плоской волны в общем виде:  $\xi(l, t) = A \sin \omega \left( t - \frac{l}{v} \right)$ , где

$\omega \left( t - \frac{l}{v} \right)$  – фаза колебаний,  $A$  – амплитуда,  $l$  – расстояние колеблющейся точки от источника колебаний,  $\omega$  – циклическая частота.

По условию амплитуда  $A = 1$  см = 0,01 м,  $\omega = 4,5\pi$  рад/с.

Тогда уравнение волны  $\xi(l, t) = 0,01 \sin \left( 4,5\pi \left( t - \frac{l}{v} \right) \right)$  м/с.

Для  $l = 40$  м в момент времени  $t = 2$  с

$$\xi(l = 40 \text{ м}, t = 2 \text{ с}) = 0,01 \sin \left( 4,5\pi \left( 2 - \frac{40}{180} \right) \right) = 0,01 \sin(8\pi) = 0.$$

Скорость точки найдем как первую производную от смещения по времени:

$$\dot{\xi}(l, t) = 0,01 \cdot 4,5\pi \cos \left( 4,5\pi \left( t - \frac{l}{v} \right) \right).$$

Подставляем данные:  $\dot{\xi} = 0,01 \cdot 4,5 \cdot 3,14 \cos \left( 4,5\pi \left( 2 - \frac{40}{180} \right) \right) = 0,14$  м/с.

**Ответ:**  $\xi = 0$ ,  $\dot{\xi} = 0,14$  м/с.

**Пример 9.** Плоская электромагнитная волна распространяется в вакууме. Амплитуда напряженности магнитного поля волны  $H_0 = 3,0 \cdot 10^2$  А/м. Определить давление, оказываемое волной на полностью поглощающую поверхность вещества, нормальную к волновому вектору.

| Дано:                      | СИ: | Решение                                                                                                                                                         |
|----------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $H_0 = 3,0 \cdot 10^2$ А/м |     | Следствие теории Максвелла:                                                                                                                                     |
| $p - ?$                    |     | если тело полностью поглощает падающую на него энергию, то давление равно среднему значению объемной плотности энергии в падающей электромагнитной волне, т. е. |

$$p = \langle \omega \rangle.$$

Объемная плотность энергии в вакууме  $\omega = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu_0 H^2}{2}$ , или с учетом того, что  $\epsilon_0 E^2 = \mu_0 H^2$ ,  $\omega = \epsilon_0 E^2 = \mu_0 H^2$ .

Напряженность магнитного поля волны  $H = H_0 \sin \omega t$ , следовательно,  $\omega = \mu_0 H_0^2 \sin^2 \omega t$ .

$$\text{Среднее значение } \langle \omega \rangle = \mu_0 H_0^2 \langle \sin^2 \omega t \rangle = \frac{1}{2} \mu_0 H_0^2,$$

$$p = \frac{1}{2} \mu_0 H_0^2,$$

$$[p] = \left[ \frac{1}{2} \mu_0 H_0^2 \right] = \left[ \frac{\text{Н}}{\text{А}^2} \frac{\text{А}^2}{\text{м}^2} \right] = \left[ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right] = [\text{Па}].$$

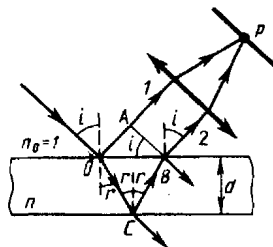
$$\text{Подставляем данные: } p = \frac{1}{2} 4\pi \cdot 10^{-7} (3 \cdot 10^2)^2 = 0,057 \text{ Па.}$$

**Ответ:**  $p = 0,057$  Па.

**Пример 10.** Пучок белого света падает по нормали к поверхности стеклянной пластинки толщиной  $d = 0,4$  мкм. Показатель преломления

стекла  $n = 1,5$ . Какие длины волн  $\lambda$ , лежащие в пределах видимого спектра (от 400 до 700 нм), усиливаются в отраженном свете?

|                              |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| <b>Дано:</b>                 | <b>СИ:</b>                    |
| $\lambda = 400 \dots 700$ нм | $(4 \dots 7) \cdot 10^{-7}$ м |
| $n = 1,5$                    |                               |
| $d = 0,4$ мкм                | $0,4 \cdot 10^{-6}$ м         |
| $\lambda - ?$                |                               |



### Решение

Пусть на плоскопараллельную прозрачную пленку с показателем преломления  $n$  в толщину  $h$  под углом  $i$  падает плоская монохроматическая волна (для простоты рассмотрим один луч). На поверхности пленки в точке  $O$  луч разделится на два; частично отразится от верхней поверхности пленки, а частично преломится. Преломленный луч, дойдя до точки  $C$ , частично преломится в воздух ( $n_0 = 1$ ), а частично отразится и пойдет к точке  $A$ . Здесь он опять частично отразится (этот ход луча в дальнейшем из-за малой интенсивности не рассматриваем) и преломится, выходя в воздух под углом  $i$ . Вышедшие из пленки лучи 1 и 2 когерентны, если оптическая разность их хода мала по сравнению с длиной когерентности падающей волны. Если на их пути поставить собирающую линзу, то они сойдутся в одной из точек  $P$  фокальной плоскости линзы. В результате возникает интерференционная картина, которая определяется оптической разностью хода между интерферирующими лучами.

Оптическая разность хода, возникающая между двумя интерферирующими лучами от точки  $O$  до плоскости  $AB$ ,  $\Delta = n(OC + BC) - (OA \pm \lambda / 2)$ , где показатель преломления окружающей пленку среды принят равным единице, а член  $\pm \lambda / 2$  обусловлен потерей полуволны при отражении света от границы раздела. Если  $n > n_0$ , то потеря полуволны произойдет в точке  $O$  и вышеупомянутый член будет иметь знак минус; если же  $n < n_0$ , то потеря полуволны произойдет в точке  $C$  и  $\lambda / 2$  будет иметь знак плюс. Согласно рисунку  $OC = CB = h / \cos r$ ,  $OA = OB \sin i = 2h \operatorname{tg} r \sin i$ .

Учитывая для данного случая закон преломления  $\sin i = n \sin r$ , получим

$$\Delta = 2hn \cos r = 2hn \sqrt{1 - \sin^2 r} = 2h \sqrt{n^2 - \sin^2 i}.$$

С учетом потери полуволны для оптической разности хода получим

$$\Delta = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \lambda / 2.$$

Для нашего случая ( $n > n_0$ )  $\Delta = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \lambda / 2$ . В отраженном от пластинки свете будут наблюдаться максимумы при углах падения  $i$ , удовлетворяющие следующему соотношению:

$$\Delta = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = k\lambda.$$

По условию угол падения света  $i = 0^\circ$ , тогда  $\Delta = 2dn + \frac{\lambda}{2}$ .

Следовательно,

$$2dn + \frac{\lambda}{2} = m\lambda \Rightarrow 2dn = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda,$$

$$\lambda = \frac{4dn}{2m - 1}.$$

Определим порядки максимумов, которые будут попадать в видимый диапазон:

$$m = \frac{2dn}{\lambda} + \frac{1}{2} \Rightarrow m_1 = \frac{2dn}{\lambda_1} + \frac{1}{2} = \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5}{0,4 \cdot 10^{-6}} + 0,5 = 3,5;$$

$$m_2 = \frac{2dn}{\lambda_2} + 0,5 = \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5}{0,7 \cdot 10^{-6}} + 0,5 = 2,2.$$

Следовательно,  $m = 3$ .

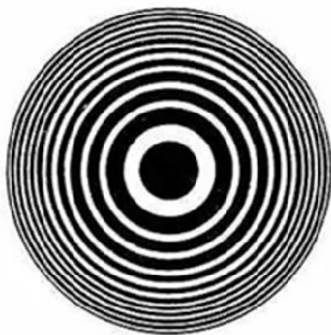
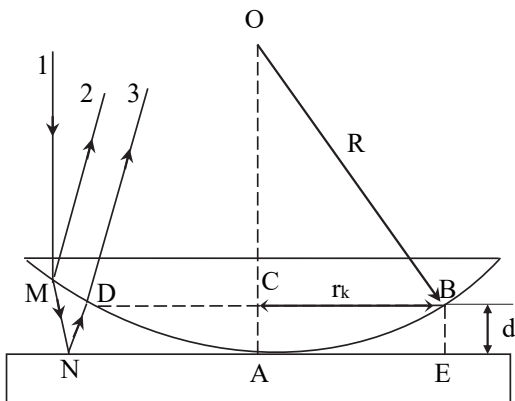
$$\text{Тогда при } m = 3 \quad \lambda = \frac{4dn}{6 - 1} = \frac{4dn}{5} = \frac{4 \cdot 0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5}{5} = 0,48 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

В отраженном свете усилены в результате интерференции лучи с длиной волны  $\lambda = 0,48 \cdot 10^{-6}$  м.

**Ответ:**  $\lambda = 0,48 \cdot 10^{-6}$  м.

**Пример 11.** Установка для получения колец Ньютона освещена светом ( $\lambda = 500$  нм), падающим нормально. Радиус кривизны линзы 5 м. Наблюдение происходит в отраженном свете. Определить ширину второго кольца Ньютона.

| Дано:              | СИ:                 | Решение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\lambda = 500$ нм | $5 \cdot 10^{-7}$ м | <p>Схема наблюдения колец Ньютона представлена на рисунке. Луч света 1, направленного на систему, в точке <math>M</math> нижней стороны линзы делится на два: один (2) отражается, а второй преломляется и отражается от пластинки в точке <math>N</math> (3). Лучи 2 и 3 когерентны и при наложении интерферируют между собой.</p> |
| $k = 2$            |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| $R = 5$ м          |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| $\Delta r = ?$     |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |



Интерференционная картина локализована на выпуклой поверхности линзы и имеет вид чередующихся темных и светлых колец. Каждое кольцо соответствует определенному значению толщины зазора  $d$ , т. е. является полосой «равной толщины».

Найдем оптическую разность хода лучей 1 и 2, учитывая, что луч, отраженный от стеклянной пластины, меняет фазу на  $\pi$ , т. е. «теряет» полуволну:

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2}.$$

Условие минимума (для темного кольца)

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2},$$

откуда следует, что  $2d = m\lambda$ .

Из треугольника  $OCB$  (см. рис. на с. 21) по теореме Пифагора запишем

$$R^2 = (R - d)^2 + r^2,$$

$$R^2 = R^2 - 2Rd + d^2 + r^2.$$

Пренебрегая величиной  $d^2$ , получим  $2Rd = r^2$ .

Решая уравнения, получим  $r^2 = m\lambda R \Rightarrow r = \sqrt{m\lambda R}$ .

Радиус любого темного кольца в отраженном свете определяется соотношением  $r_m = \sqrt{m\lambda R}$ .

Толщину второго светлого кольца найдем как разность радиусов третьего и второго темных колец:  $\Delta r = r_3 - r_2$ .

Так как  $r_2 = \sqrt{2R\lambda}$ ,  $r_3 = \sqrt{3R\lambda}$ , получим

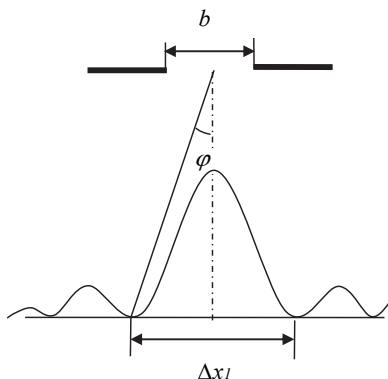
$$\Delta r = \sqrt{3R\lambda} - \sqrt{2R\lambda} = (\sqrt{3} - \sqrt{2})\sqrt{R\lambda},$$

$$\Delta r = (\sqrt{3} - \sqrt{2})\sqrt{5 \cdot 5 \cdot 10^{-7}} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,5 \text{ мм}.$$

**Ответ:**  $\Delta r = 0,5 \text{ мм}$ .

**Пример 12.** На щель шириной  $b = 0,3$  мм падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 0,45$  мкм. Найти ширину центрального дифракционного максимума на экране, удаленном от щели на  $L = 1$  м. Ответ укажите в миллиметрах.

|                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| <b>Дано:</b>         | <b>СИ:</b>            |
| $\lambda = 0,45$ мкм | $4,5 \cdot 10^{-7}$ м |
| $b = 0,3$ мм         | $3 \cdot 10^{-4}$ м   |
| $L = 1$ м            |                       |
| $m = 1$              |                       |
| $\Delta x_1 - ?$     |                       |



### Решение

Ширина центрального максимума – это расстояние между минимумами первого порядка.

Условие дифракционного минимума при нормальном падении света на щель –  $b \sin \varphi = m\lambda$ , где  $b$  – ширина щели,  $\lambda$  – длина волны,  $m$  – порядок спектра.

Из рисунка

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \frac{x_{\min}}{L} \Rightarrow x_{\min} = \operatorname{tg} \varphi L = \frac{\sin \varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 \varphi}} L = \\ &= \frac{m\lambda L}{b \sqrt{1 - \left(\frac{m\lambda}{a}\right)^2}} = \frac{m\lambda L}{\sqrt{b^2 - (m\lambda)^2}}. \end{aligned}$$

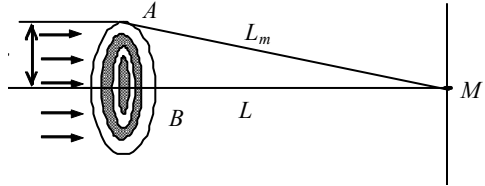
$$\text{Тогда } \Delta x_1 = 2x_{\min} = \frac{2m\lambda L}{\sqrt{b^2 - (m\lambda)^2}}.$$

$$\text{Подставляем данные: } \Delta x_1 = \frac{2 \cdot 4,5 \cdot 10^{-7} \cdot 1}{\sqrt{9 \cdot 10^{-8} - (1 \cdot 4,5 \cdot 10^{-7})^2}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3 \text{ мм}.$$

**Ответ:**  $\Delta x_1 = 3$  мм.

**Пример 13.** Определить отношение площадей зон  $S_5 / S_6$  и разность радиусов пятой  $r_5$  и шестой  $r_6$  зон Френеля для плоского волнового фронта с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм, если экран расположен на расстоянии  $L = 1$  м от фронта волны.

|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| <b>Дано:</b>        | <b>СИ:</b>          |
| $\lambda = 0,6$ мкм | $6 \cdot 10^{-7}$ м |
| $L = 1$ м           |                     |
| $S_5 / S_6$ ,       |                     |
| $r_6 - r_5 - ?$     |                     |



### Решение

Радиус внешней границы  $m$ -й зоны Френеля для сферической волны

$$r_m = \sqrt{\frac{aL}{a+L} m\lambda},$$

где  $m$  – номер зоны Френеля,  $\lambda$  – длина волны,  $a$  и  $b$  – соответственно расстояния от фронта волны до точечного источника и до экрана, на котором наблюдается дифракционная картина.

$$\text{Для плоской волны } a \rightarrow \infty, \text{ тогда } r_m = \sqrt{\frac{L}{1 + \frac{L}{a}} m\lambda} = \sqrt{Lm\lambda}.$$

$$\text{Следовательно, } r_5 = \sqrt{1 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 10^{-7}} = 1,73 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,73 \text{ мм},$$

$$r_6 = \sqrt{1 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 10^{-7}} = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,9 \text{ мм},$$

$$r_6 - r_5 = (1,9 - 1,73) \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 10^{-3} \text{ мм}.$$

Площадь любой зоны Френеля  $S_m = \pi r_m^2 - \pi r_{m-1}^2 = \pi(mL\lambda - (m-1)L\lambda) = \pi L\lambda$  не зависит от номера зоны (т.е. постоянна), поэтому  $S_5 / S_6 = 1$ .

**Ответ:**  $r_6 - r_5 = 0,17 \cdot 10^{-3}$  мм,  $S_5 / S_6 = 1$ .

**Пример 14.** Максимум энергетической светимости абсолютно черного тела приходится на длину волны 1,45 мкм. Площадь излучающей поверхности 5 см<sup>2</sup>. Определить суммарную мощность излучения.

| Дано:                        | СИ:                            | Решение                                   |
|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|
| $\lambda = 1,45 \text{ мкм}$ | $1,45 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ | Мощность излучения абсолютно черного тела |
| $S = 5 \text{ см}^2$         | $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  |                                           |
| $P = ?$                      |                                | $P = R_e S,$                              |

где  $R_e$  – энергетическая светимость абсолютно черного тела,  $S$  – площадь поверхности излучающего тела.

В соответствии с законом Стефана – Больцмана

$$R_e = \sigma T^4,$$

где  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  – постоянная Стефана – Больцмана.

Длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения абсолютно черного тела, определяется из закона смещения Вина

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (*)$$

где  $T$  – термодинамическая температура излучателя,  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$  – постоянная Вина.

По формуле (\*) определяем температуру излучателя:  $T = \frac{b}{\lambda}.$

Тогда  $P = \sigma T^4 S.$

Следовательно,  $P = \sigma S \left( \frac{b}{\lambda} \right)^4.$

Выполним вычисления:

$$P = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot \left( \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{1,45 \cdot 10^{-6}} \right)^4 = 453,6 \text{ Вт}.$$

**Ответ:**  $P = 453,6 \text{ Вт}.$

**Пример 15.** Определить максимальную скорость электрона, вылетающего из металла при освещении его светом с длиной волны  $\lambda = 260$  нм. Работа выхода электрона из металла  $A = 1,81$  эВ.

|                                                                       |                                     |                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Дано:</b><br>$\lambda = 260$ нм<br>$A = 1,81$ эВ<br>$v_{\max} - ?$ | <b>СИ:</b><br>$2,6 \cdot 10^{-7}$ м | <b>Решение</b><br>Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта |
|                                                                       |                                     | $h\nu = A + E_{k\max},$                                        |

где  $A$  – работа выхода электрона из металла,  $E_{k\max}$  – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

Переведем  $A$  из электрон-вольтов в джоули:  $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж,  
 $A = 1,81 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 2,896 \cdot 10^{-19}$  Дж.

Энергия падающего фотона  $h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ .

Тогда  $E_{k\max} = \frac{hc}{\lambda} - A$ .

Так как  $E_{k\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2} \Rightarrow v_{\max} = \sqrt{\frac{2E_{k\max}}{m}} = \sqrt{\frac{2\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)}{m}}.$

$$[v_{\max}] = \left[ \sqrt{\frac{2\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)}{m}} \right] = \left[ \sqrt{\frac{\text{Дж} \cdot \text{с} \frac{\text{М}}{\text{с}}}{\text{М} \cdot \text{кг}}} \right] = \left[ \sqrt{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} \right] = \left[ \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{М}}{\text{кг}}} \right] =$$

$$= \left[ \sqrt{\frac{\text{кг} \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \text{М}}{\text{кг}}} \right] = \left[ \frac{\text{М}}{\text{с}} \right].$$

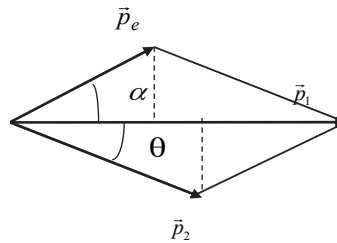
Подставляем данные:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2 \left( \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2,6 \cdot 10^{-7}} - 2,896 \cdot 10^{-19} \right)}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 1,02 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

**Ответ:**  $v_{\max} = 1,02 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$

**Пример 16.** Какая часть энергии падающего фотона приходится на электрон отдачи при комптоновском эффекте, если рассеяние фотона произошло на угол  $\pi / 6$ . Длина волны падающего фотона  $\lambda_1 = 12 \text{ пм.}$

| Дано:                       | СИ:                            |
|-----------------------------|--------------------------------|
| $\lambda_1 = 12 \text{ пм}$ | $1,2 \cdot 10^{-11} \text{ м}$ |
| $\theta = \pi / 6$          |                                |
| $\frac{T}{\epsilon_1} - ?$  |                                |



### Решение

Эффектом Комптона называется изменение длины волны рентгеновского излучения при его рассеянии веществом, содержащим легкие атомы.

При соударении со свободным электроном фотон передает ему часть своей энергии, вследствие этого длина волны  $\lambda_2$  рассеянного фотона больше длины волны  $\lambda_1$  первичного фотона. Изменение длины волны дается формулой Комптона:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta),$$

где  $m_0$  – масса покоящегося электрона,  $\theta$  – угол рассеяния.

Отсюда длина волны  $\lambda_2$  рассеянного фотона  $\lambda_2 = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) + \lambda_1$ .

Энергии фотона до и после рассеяния:  $\varepsilon_1 = h\nu_1 = \frac{hc}{\lambda_1}$ ,  $\varepsilon_2 = h\nu_2 = \frac{hc}{\lambda_2} = \frac{hc}{\lambda_1 + \Delta\lambda}$ .

Энергия рассеянного фотона  $\varepsilon_2 = \frac{hc}{\frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta) + \lambda_1}$ .

Энергия электрона отдачи  $T = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$ .

Тогда  $\frac{T}{\varepsilon_1} = 1 - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = 1 - \frac{\lambda_1}{\frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta) + \lambda_1}$ ,

$$\frac{T}{\varepsilon_1} = 1 - \frac{12 \cdot 10^{-12}}{\frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8}(1 - \cos 30^\circ) + 12 \cdot 10^{-12}} = 1 - 0,974 = 0,0264 \approx 0,03.$$

**Ответ:**  $\frac{T}{\varepsilon_1} = 0,03$ .

**Пример 17.** При анализе рассеяния альфа-частиц на ядрах (опыты Резерфорда) прицельные расстояния принимались порядка 0,1 нм. Волновые свойства альфа-частиц, имеющих кинетическую энергию 7,7 МэВ, при этом не учитывались.

| Дано:                 | СИ:                         | Решение                                                                                                                     |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $T = 7,7 \text{ МэВ}$ | $7,7 \cdot 10^6 \text{ эВ}$ | Согласно гипотезе де Бройля, любая движущаяся частица имеет волновые свойства и для нее можно вычислить дебройлевскую длину |
| $d = 0,1 \text{ нм}$  | $10^{-10} \text{ м}$        |                                                                                                                             |
| $\lambda - ?$         |                             |                                                                                                                             |

волны по формуле де Бройля:  $\lambda = \frac{h}{p}$ , где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$  – постоянная Планка,  $p$  – импульс частицы,  $\text{кг} \cdot \text{м/с}$ .

Найдем энергию покоя альфа-частиц:

$$E_0 = mc^2 = 4 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 6,012 \cdot 10^{-10} \text{ Дж.}$$

Выразим энергию в электрон-вольтах:  $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$

Тогда 
$$E_0 = \frac{6,012 \cdot 10^{-10}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 3,7575 \cdot 10^9 \text{ эВ} = 3757,5 \text{ МэВ.}$$

Энергия покоя альфа-частиц значительно больше кинетической энергии, следовательно, данную частицу необходимо рассматривать как нерелятивистскую.

Длина волны де Бройля для нерелятивистской частицы  $\lambda = \frac{h}{mv}$ ,

где  $m$  – масса частицы.

Или, учитывая, что  $E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{(mv)^2}{2m} \Rightarrow p = mv = \sqrt{2mT}$ .

Тогда  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mT}}$ .

Подставляем данные:

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 4 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 7,7 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}} = 5,17 \cdot 10^{-15} \text{ м.}$$

Сравнивая дебройлевскую длину волны с прицельным расстоянием  $d = 10^{-10} \text{ м}$ , делаем заключение, что волновые свойства частицы учитывать не следует ( $\lambda \ll d$ ).

**Ответ:**  $\lambda = 5,17 \cdot 10^{-15} \text{ м.}$

**Пример 18.** Определить, что (и во сколько раз) продолжительнее: три периода полураспада или два средних времени жизни радиоактивного ядра?

| Дано:                  | СИ: | Решение                                                                                              |
|------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $3T_{1/2}$             |     | Период полураспада – время, за которое распадется примерно половина первоначального количества ядер. |
| $2\tau$                |     |                                                                                                      |
| $3T_{1/2} / 2\tau - ?$ |     |                                                                                                      |

Период полураспада связан с постоянной радиоактивного распада отношением

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

Среднее время жизни радиоактивного ядра – интервал времени, за который число нераспавшихся ядер уменьшается в  $e$  раз:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

Тогда 
$$\frac{3T_{1/2}}{2\tau} = \frac{3 \ln 2}{\lambda} \frac{\lambda}{2} = \frac{3 \ln 2}{2} = 1,04.$$

**Ответ:**  $3T_{1/2} / 2\tau = 1,04.$

**Пример 19.** Вычислить удельную энергию связи, т. е. энергию связи, приходящуюся на один нуклон ядра  ${}^3_2\text{He}$ .

| Дано:                                          | СИ: | Решение                                                    |
|------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------|
| $m_{{}^3_2\text{He}} = 3,01603 \text{ а.е.м.}$ |     | Удельная энергия связи – это энергия, приходящаяся на один |
| $E_{\text{уд}} - ?$                            |     | нуклон: $E_{\text{уд}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}.$         |

Энергия связи ядра  $E_{\text{св}}$  – энергия, которую нужно сообщить ядру, чтобы разделить его на нуклоны, – определяется по формуле

$$E_{\text{св}} = c^2 \Delta m. \quad (1)$$

Масса ядра всегда меньше суммы масс свободных (находящихся вне ядра) протонов и нейтронов, из которых ядро образовалось. Дефект массы ядра ( $\Delta m$ ) есть разность между суммой масс свободных нуклонов (протонов и нейтронов) и массой ядра, т. е.

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}, \quad (2)$$

где  $Z$  – атомный номер (число протонов в ядре);  $A$  – массовое число (число нуклонов, составляющих ядро);  $m_p$ ,  $m_n$ ,  $m_{\text{я}}$  – соответственно массы протона, нейтрона и ядра.

Формулу (2) можно также записать в виде

$$\Delta m = Zm_{1\text{H}} + (A - Z)m_n - m_a, \quad (3)$$

$m_{1\text{H}} = 1,00783$  а.е.м. – масса атома водорода;  $m_{1n} = 1,00867$  а.е.м. – масса нейтрона;  $m_a$  – масса атома, дефект массы ядра которого можно определить.

Если дефект массы  $\Delta m$  выражать в атомных единицах массы, а энергию связи  $E_{\text{св}}$  в мегаэлектрон-вольтах, то формула (1) примет вид

$$E_{\text{св}} = 931,4 \Delta m. \quad (4)$$

Удельная энергия связи  $E_{\text{уд}} = \frac{\left( Zm_{1\text{H}} + (A - Z)m_n - m_a \right) c^2}{A},$

$$E_{\text{уд}} = \frac{(2 \cdot 1,00783 + 1 \cdot 1,00867 - 3,01603) 931,4}{3} = 2,58 \text{ МэВ/нуклон.}$$

**Ответ:**  $E_{\text{уд}} = 2,58 \text{ МэВ/нуклон.}$

### 1.3. ТАБЛИЦЫ ВАРИАНТОВ

Таблица 1

Распределение задач для РГЗ (МТФ, ФЛА, ФМА)

| Вариант  | Номера задач |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>1</b> | 1            | 6  | 11 | 16 | 21 | 31 | 41 | 46 | 51 | 56 | 66 | 76 |
| <b>2</b> | 2            | 7  | 12 | 17 | 22 | 32 | 42 | 47 | 52 | 57 | 67 | 77 |
| <b>3</b> | 3            | 8  | 13 | 18 | 23 | 33 | 43 | 48 | 53 | 58 | 68 | 78 |
| <b>4</b> | 4            | 9  | 14 | 19 | 23 | 34 | 44 | 49 | 54 | 59 | 69 | 79 |
| <b>5</b> | 5            | 10 | 15 | 20 | 25 | 35 | 45 | 50 | 55 | 60 | 70 | 80 |

Таблица 2

**Распределение задач для РГЗ (АВТФ)**

| Вариант  | Номера задач |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>1</b> | 16           | 21 | 26 | 31 | 36 | 41 | 46 | 51 | 61 | 66 | 71 | 76 |
| <b>2</b> | 17           | 22 | 27 | 32 | 37 | 42 | 47 | 52 | 62 | 67 | 72 | 77 |
| <b>3</b> | 18           | 23 | 28 | 33 | 38 | 43 | 48 | 53 | 63 | 68 | 73 | 78 |
| <b>4</b> | 19           | 23 | 29 | 34 | 39 | 44 | 49 | 54 | 64 | 69 | 74 | 79 |
| <b>5</b> | 20           | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 65 | 70 | 75 | 80 |

Таблица 3

**Распределение задач для РГЗ (ФПМИ)**

| Вариант  | Номера задач |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>1</b> | 16           | 21 | 26 | 31 | 36 | 41 | 46 | 51 | 61 | 66 | 76 | 81 |
| <b>2</b> | 17           | 22 | 27 | 32 | 37 | 42 | 47 | 52 | 62 | 67 | 77 | 82 |
| <b>3</b> | 18           | 23 | 28 | 33 | 38 | 43 | 48 | 53 | 63 | 68 | 78 | 83 |
| <b>4</b> | 19           | 23 | 29 | 34 | 39 | 44 | 49 | 54 | 64 | 69 | 79 | 84 |
| <b>5</b> | 20           | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 65 | 70 | 80 | 85 |

**1.4. ЗАДАЧИ РГЗ**

1. По кольцевому проводнику радиусом  $R = 5$  см течет ток  $I_1 = 10$  А. Параллельно плоскости кольцевого проводника на расстоянии  $d = 2$  см над его центром проходит прямой проводник с током  $I_2 = 4$  А. Определить индукцию поля в центре кольца (среда – воздух).

2. Проводник с током 100 А имеет форму окружности с радиусом 20 см, у которой третья часть дуги заменена прямолинейным проводником. Определить напряженность магнитного поля в центре окружности.

3. Бесконечно длинный проводник с током 54 А изогнут под прямым углом. Найти магнитную индукцию в точке, лежащей на одном из прямолинейных участков проводника на расстоянии 50 см от вершины угла.

4. Два соосных круговых витка радиусами 20 см и 60 см с токами 100 А и 20 А лежат в параллельных плоскостях на расстоянии 30 см друг от друга. Найти напряженность магнитного поля в центре первого витка, если токи в витках направлены в противоположные стороны.

5. Найти напряженность магнитного поля в центре полукольца, соединенного своими концами с двумя полубесконечными параллельными проводниками. Расстояние между проводниками равняется 1 м, и по ним течет ток силой 1 А. Все проводники лежат в одной плоскости.

6. Протон, ускоренный разностью потенциалов  $U = 500$  кВ, пролетает поперечное однородное магнитное поле с индукцией  $B = 0,51$  Тл. Толщина области с полем  $d = 10$  см. Найти угол  $\alpha$  отклонения протона от первоначального направления движения.

7. Одновалентные ионы, массовые числа которых  $A_1 = 20$  и  $A_2 = 22$ , разгоняются в электрическом поле при разности потенциалов  $U = 4,0$  кВ, а затем влетают в магнитное поле с индукцией  $B = 0,25$  Тл перпендикулярно силовым линиям. Описав полуокружность, ионы вылетают двумя пучками. Определить расстояние между пучками.

8. Электрон, ускоренный разностью потенциалов  $U = 3000$  В, влетает в магнитное поле соленоида под углом  $\alpha = 30^\circ$  к его оси. Число ампер-витков соленоида  $IN = 5000$  А. Длина соленоида 25 см. Найти шаг винтовой линии электрона в магнитном поле соленоида.

9. По трем параллельным прямым проводам, находящимися на одинаковом расстоянии  $a = 10$  см друг от друга, текут одинаковые токи силой  $I = 100$  А. В двух проводах направления токов совпадают. Определить силу  $F_1$ , действующую на отрезок длиной  $l = 1$  см каждого проводника.

10. Прямоугольная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что ее большая сторона  $a = 2$  см параллельна проводу. Другая сторона рамки в 2 раза меньше. По рамке и проводу текут одинаковые токи силой  $I_1 = I_2 = 1$  кА. Определить силу, действующую на рамку, и показать ее направление, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии  $a/3$ .

11. В магнитном поле с индукцией, изменяющейся со скоростью 4 мТл/с, находится соленоид. Ось соленоида составляет угол  $\alpha = 60^\circ$  с вектором магнитной индукции. Диаметр витков соленоида 15 см, а их

число равно 200. Сопротивление соленоида 30 Ом. Найти заряд, протекающий по соленоиду за время  $t = 10$  с.

12. Рамка из проволоки площадью  $S = 3 \text{ см}^2$  помещена в однородное магнитное поле с индукцией, изменяющейся со временем по закону  $B = 2t^2$  (Тл). Плоскость рамки перпендикулярна линиям индукции. Какое количество теплоты выделится в рамке за промежуток времени от нуля до 8 с, если ее сопротивление  $R = 0,1$  Ом.

13. Прямоугольная проволочная рамка со сторонами  $a$  и  $b$ , имеющая сопротивление  $R$ , находится в однородном магнитном поле, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости витка. Модуль магнитной индукции зависит от времени  $t$  по закону  $B(t) = B_0 e^{-\alpha t}$ , где  $B_0$ ,  $\alpha$  – постоянные. Найти зависимость тока в рамке от времени.

14. Плоский проводящий контур, имеющий вид квадрата со стороной  $a = 20$  см, находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном к его плоскости. Найти амплитудное значение индукционного тока, возникшего в контуре, если магнитное поле, пронизывающее контур, будет меняться по закону  $B = B_0 \sin(\omega t)$ , где  $B_0 = 10$  мТл,  $\omega = 100$  рад/с. Сопротивление единицы длины контура  $\rho_s = 50$  мОм/м. Индуктивностью контура пренебречь.

15. В однородном магнитном поле напряженностью 1000 А/м равномерно вращается круглая рамка, имеющая 100 витков средним радиусом 6 см. Ось вращения совпадает с диаметром рамки и перпендикулярна полю. Сопротивление рамки 1 Ом, угловая скорость ее вращения 10 рад/с. Найти максимальную силу тока в рамке.

16. Груз массой 100 г, подвешенный на пружине жесткостью 20 Н/м, совершает гармонические колебания. В начальный момент времени смещение груза оказалось равным 4,2 см, а его скорость 0,5 м/с. Вычислите амплитуду и начальную фазу колебаний. Запишите зависимость от времени потенциальной энергии груза.

17. Колебания материальной точки заданы уравнением  $x = A \cos \omega t$ , где  $A = 8$  см,  $\omega = 2\pi/3$  рад/с. В момент времени, когда сила, действующая на тело, в первый раз достигла 5 мН, потенциальная энергия была равна 100 мкДж. Определить этот момент времени и соответствующую ему фазу.

18. Определите, на сколько процентов уменьшится период колебаний пружинного маятника, если от пружины отрезать одну треть ее длины.

19. Математический маятник длиной  $l = 2$  м отклонили от положения равновесия на угол  $\alpha_0 = 5^\circ$  ипустили. Найти ближайший момент времени, когда потенциальная и кинетическая энергии маятника одинаковы.

20. На стержне длиной 30 см укреплены два груза: один в середине стержня с массой  $m = 50$  г, другой с массой  $2m$  – на одном из его концов. Стержень с грузом колеблется около горизонтальной оси, проходящей через свободный конец стержня. Определить приведенную длину и период колебаний такой системы. Массой стержня пренебречь.

21. Материальная точка участвует в двух колебаниях, происходящих по одной прямой и выражаемых уравнениями  $x_1 = \sin t$ ,  $x_2 = 2 \cos t$  (длина в сантиметрах, время в секундах). Найти амплитуду сложного движения, его частоту и начальную фазу, написать уравнение сложения колебаний.

22. Частица принимает участие одновременно в двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаниях, уравнения движения которых имеют вид:  $x = A \cos(\omega t)$ ,  $y = B \cos(\omega t + \pi/2)$ , где  $A = 5$  см,  $B = 2$  см. Найти уравнение траектории частицы, построить ее в масштабе, указать направление движения частицы.

23. В результате сложения двух одинаково направленных гармонических колебаний с одинаковыми амплитудами и одинаковыми периодами получается результирующее колебание с тем же периодом и амплитудой. Найти разность фаз  $\phi_1 - \phi_2$  складываемых колебаний. Построить векторную диаграмму.

24. Грузик, подвешенный на легкой пружине, совершает гармонические колебания в вертикальной плоскости с амплитудой 4 см. В некоторый момент точка подвеса сама начинает колебаться в вертикальной плоскости с амплитудой 6 см и тем же периодом. Найти разность фаз складываемых колебаний, если амплитуда результирующего колебания равна 3 см. Построить векторную диаграмму.

25. Точка совершает одновременно два гармонических колебания, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями  $x = \sin \frac{t}{2}$  и  $y = \cos t$  (длина в сантиметрах, время в секундах). Найти уравнение траектории, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения.

26. На колеблющийся шарик массой  $m$  на пружинке жесткостью  $k$  действует сила трения  $f_{\text{тр}} = -\lambda v$ . Подсчитать тепло, выделяющееся

в среднем за один период колебаний, предполагая, что добротность колебаний велика. На сколько за один период уменьшается амплитуда колебаний?

27. Маятник длиной  $l = 5$  м совершает малые колебания так, что амплитуда их уменьшилась в два раза за 100 периодов. Найти добротность колебаний, логарифмический декремент и коэффициент затухания.

28. Найти коэффициент затухания для математического маятника длиной 1 м, если резонансная частота вынужденных колебаний 2,41 рад/с.

29. Определите период затухающих колебаний системы  $T$ , если период собственных колебаний  $T_0 = 1$  с, а логарифмический декремент затухания 0,628. Сколько колебаний совершит эта система до полной остановки?

30. Определить координату  $x$  материальной точки относительно положения равновесия в момент времени  $t = 1,3$  с, если известно, что амплитуда затухающих колебаний  $A_0 = 20$  см, логарифмический декремент затухания равен 7,564, начальное отклонение  $x_0 = 0$ , циклическая частота собственных колебаний  $\omega_0 = 1,26$  рад/с.

31. Период колебаний контура, состоящего из катушки индуктивности и конденсатора, составляет  $T = 10$  мкс. Чему равен максимальный ток в катушке, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора  $U_m = 900$  В? Максимальная энергия электрического поля равна  $W_m^{\text{эл}} = 9$  мДж.

32. Закон изменения силы тока в колебательном контуре  $I = 5 \cos(2000t + \pi/6)$ , время  $t$  в секундах, ток  $I$  в миллиамперах. Электрическая емкость конденсатора равна 8 мкФ. Определить разность потенциалов на обкладках конденсатора в тот момент, когда энергия электрического поля равна энергии магнитного поля.

33. В колебательном контуре конденсатору емкостью 10 мкФ сообщили заряд 10 мкКл. В контуре возникли затухающие колебания. Через 10 мс напряжение на конденсаторе уменьшилось в три раза. Определить сопротивление контура. Какое количество тепла выделится за это время? Индуктивность катушки 200 мГн.

34. Добротность некоторого колебательного контура равна 5. Определить, на сколько процентов отличается частота свободных колебаний контура  $\omega$  от собственной частоты контура  $\omega_0$ .

35. За время релаксации в колебательном контуре совершается 12,5 колебания. Определить коэффициент затухания и относительное изменение энергии контура за время, равное 5 мс. Период колебаний в контуре равен 1 мс.

36. Упругая волна распространяется вдоль оси  $x$  со скоростью  $v = 20$  м/с. Максимальная скорость колебаний частиц равна 10 см/с, максимальное ускорение  $80$  см/с<sup>2</sup>. Определить длину волны.

37. На каком ближайшем расстоянии от источника колебаний с периодом 79 мс через время, равное половине периода после включения источника, смещение точки от положения равновесия равно половине амплитуды? Скорость распространения колебаний равна 156 м/с. Считать, что в момент включения источника все точки находятся в положении равновесия.

38. Уравнение плоской бегущей волны имеет вид  $\xi(x, t) = 5 \cos(3\pi t + 10x)$ . Чему равна интенсивность этой волны в среде с плотностью  $1$  кг/м<sup>3</sup>?

39. Две одинаковые струны с частотой колебаний  $\nu = 398$  Гц имеют длину  $l = 1$  м. На какую величину  $\Delta l$  надо укоротить одну из струн, чтобы получить биения с частотой  $\Delta \nu = 2$  Гц?

40. Волна распространяется в упругой среде со скоростью 100 м/с. Наименьшее расстояние между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно 1 м. Определить: 1) частоту колебаний; 2) максимальное значение скорости колебаний частиц среды, если амплитуда колебаний равна 5 см.

41. Электромагнитная волна с частотой  $\nu = 15$  МГц переходит из немагнитной среды с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2$  в среду с диэлектрической магнитной проницаемостью  $\epsilon = 3$  и  $\mu = 2$ . Определить приращение ее длины волны.

42. В вакууме вдоль оси  $z$  распространяется плоская монохроматическая синусоидальная электромагнитная волна частотой  $\nu = 50$  МГц с амплитудой напряженности электрического поля  $E_0 = 100$  мВ/м. Определить интенсивность волны, амплитуду напряженности магнитного поля и амплитудное значение тока смещения.

43. В какой момент времени вектор магнитной индукции электромагнитной волны максимален на расстоянии 10 м от источника колебаний? Частота колебаний  $10^5$  Гц, среда имеет  $\epsilon = 4,5$  и  $\mu = 1$ .

44. Определить энергию, которую за одну минуту переносит плоская электромагнитная волна, распространяющаяся в вакууме через

площадку радиусом 5 см, расположенную перпендикулярно распространению волны. Амплитуда напряженности электрического поля равна 1 мВ/м, а период волны много меньше времени наблюдения.

45. Плотность потока энергии электромагнитной волны при распространении ее в вакууме составляет  $1,34 \cdot 10^{-9}$  Дж/(м<sup>2</sup> · с). Найти амплитуды напряженности электрического и магнитного полей.

46. Каждый интерференционный максимум, создаваемый на экране двумя когерентными источниками белого света, является многоцветным с красным ( $\lambda = 0,7$  мкм) наружным и фиолетовым ( $\lambda = 0,4$  мкм) внутренним краями. Найти ширину интерференционного максимума, если расстояние между источниками 4 мм, расстояние до экрана 4 м.

47. На мыльную пленку ( $n = 1,33$ ), находящуюся в воздухе, под углом  $\alpha = 60^\circ$  падает пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине пленки свет с длиной волны  $\lambda = 0,55$  мкм окажется максимально усиленным в результате интерференции? Наблюдение ведется в проходящем свете.

48. Какой должна быть толщина плоскопараллельной стеклянной пластинки ( $n = 1,55$ ), чтобы в отраженном свете максимум второго порядка для  $\lambda = 0,65$  мкм наблюдался под тем же углом, что и у дифракционной решетки с постоянной  $d = 1$  мкм?

49. Воздушный клин образован двумя стеклянными пластинами, скрепленными под углом  $\alpha$ . На клин нормально падает свет длиной волны  $\lambda = 0,533$  мкм. В отраженном свете на поверхности клина видны интерференционные полосы. Ширина полосы  $\Delta x = 2,0$  мм. Как изменится интерференционная картина, если пространство между пластинами заполнить водой? Чему будет равна ширина полосы? Показатели преломления воздуха, воды и стекла:  $n_0 = 1,0$ ,  $n_v = 1,33$ ,  $n_{ст} = 1,87$  соответственно.

50. Плоско-выпуклая стеклянная линза соприкасается со стеклянной пластинкой. В отраженном свете радиус некоторого темного кольца равен 2,5 мм. Наблюдая за этим кольцом, линзу отодвинули на 5 мкм от пластинки. Каким стал радиус кольца? Радиус линзы 40 см.

51. На дифракционную решетку, постоянная которой 4 мкм, нормально падает пучок белого света. Определить протяженность видимого участка спектра первого порядка, спроектированного на экран линзой с фокусным расстоянием 50 см. Длины волн границ видимого света принять равными 380 нм и 760 нм.

52. Определить длину волны монохроматического света, падающего нормально на решетку с периодом 2,6 мкм, если угол между максимумами первого и второго порядка равен  $20^\circ$ . Определить угловое расстояние между главным максимумом и ближайшим к нему минимумом. Решетка имеет 500 штрихов на 1 мм.

53. Монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм падает на длинную прямоугольную щель шириной 12 мкм под углом  $45^\circ$  к ее нормали. Определить положение первых минимумов, расположенных по обе стороны от центрального дифракционного максимума.

54. Плоская световая волна падает по нормали на диафрагму с отверстием переменного радиуса. Параллельно диафрагме расположен экран. Известно, что при геометрических характеристиках опыта отверстие открывает первую зону Френеля для некоторой точки  $P$  на экране. Во сколько раз следует увеличить радиус отверстия, чтобы в точке возник а) первый минимум; б) второй максимум?

55. Сферическая волна, распространяющаяся из точечного монохроматического источника света ( $\lambda = 0,6$  мкм), встречает на своем пути экран с круглым отверстием радиусом 0,4 мм. Расстояние от источника до экрана равно 1 м. Определить наибольшее расстояние от отверстия до точки экрана, лежащей на линии, соединяющей источник с центром отверстия, где наблюдается максимум освещенности.

56. Абсолютно черное тело нагрето до температуры  $227^\circ\text{C}$ . После понижения температуры суммарная мощность его теплового излучения уменьшилась в 3 раза. На сколько градусов понизилась температура тела?

57. В излучении абсолютно черного тела, поверхность которого  $25\text{ см}^2$ , максимум излучательной способности приходится на длину волны 680 нм. Определить мощность излучения (световой поток). Какому количеству фотонов, излучаемых телом за 1 секунду с  $1\text{ см}^2$  поверхности, соответствует такой световой поток монохроматического излучения с длиной волны 680 нм?

58. В электрической лампе вольфрамовый волосок диаметром 0,05 мм нагревается до  $T_1 = 2700\text{ К}$ . Через сколько времени после выключения тока температура упадет до  $T_2 = 600\text{ К}$ ? Считать волосок серым телом с коэффициентом поглощения 0,3. Плотность вольфрама  $19\,300\text{ кг/м}^3$ , удельная теплоемкость  $130\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

59. Используя формулу Планка, определить спектральную плотность потока излучения единицы поверхности черного тела, приходящегося на узкий интервал длин волн  $\Delta\lambda = 5$  нм в области длины волны 800 нм, если температура черного тела равна  $T = 2500$  К.

60. Абсолютно черное тело цилиндрической формы радиусом  $R = 20$  см и высотой  $H = 120$  мм поддерживается при температуре  $t = 1002$  °С. Вычислить энергию  $Q$ , излучаемую этим телом за промежуток времени  $\tau = 1$  мин.

61. Определить скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра: 1) ультрафиолетовыми лучами с длиной волны  $\lambda_1 = 0,155$  мкм; 2)  $\gamma$ -лучами с длиной волны  $\lambda_2 = 0,01$  Å. Работа выхода для серебра  $A = 4,7$  эВ.

62. Металлы с работой выхода  $A$  сначала освещают монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ , а затем светом с длиной волны в  $n$  раз меньше. Определить, во сколько раз изменится задерживающее напряжение.

63. Плоскую цинковую пластину освещают излучением со сплошным спектром, коротковолновая граница которого соответствует длине волны 30 нм. На какое максимальное расстояние от поверхности пластины может удалиться фотоэлектрон, если вне пластины имеется задерживающее однородное электрическое поле напряженностью 10 В/см?

64. Какую длину волны де Бройля имеет электрон, выбитый с поверхности натрия фотоном, имевшим энергию  $E = 3$  кэВ?

65. Фотон с энергией  $\varepsilon = 10$  эВ падает на серебряную пластинку и вызывает фотоэффект. Определить импульс  $p$ , полученный пластиной, принимая, что скорости движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной поверхности пластины.

66. Фотон с энергией 0,25 МэВ рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Под каким углом произошло рассеяние фотона, если его длина волны изменилась на 24 %?

67. В эффекте Комптона фотон с энергией 0,38 МэВ рассеялся на свободном электроне под углом 35°. Принимая, что кинетическая энергия и импульс электрона до соударения с фотоном были пренебрежимо малы, определить массу  $m_2$  рассеянного фотона.

68. В результате комптоновского рассеяния на свободном электроне энергия  $\gamma$ -фотона уменьшилась в 3 раза. Угол рассеяния фотона

равен  $60^\circ$ . Найти кинетическую энергию и импульс электрона отдачи. До столкновения электрон покоился.

69. Кинетическая энергия электрона равна удвоенному значению его энергии покоя. Определить длину волны де Бройля для такого электрона.

70. Какую энергию необходимо дополнительно сообщить электрону, чтобы его дебройлевская длина волны уменьшилась от 100 до 50 пм?

71. Какие спектральные линии появятся в видимой области спектра при возбуждении атомов водорода электронами с энергией 12,8 эВ?

72. В каких пределах  $\Delta\lambda$  должны лежать длины волн монохроматического света, чтобы при возбуждении атомов водорода квантами этого света радиус орбиты электрона увеличился в 16 раз?

73. В возбужденном атоме водорода электрон вращается на одной из возможных боровских орбит со скоростью  $1,1 \cdot 10^6$  м/с. Определить, чему равна энергия кванта, излучаемого при переходе электрона в основное состояние.

74. На дифракционную решетку с периодом 5 мкм нормально падает пучок лучей от разрядной трубки, наполненной атомарным водородом. Дифракционный максимум 5-го порядка, наблюдаемый под углом  $41^\circ$ , соответствует одной из линий серии Бальмера. Определить квантовое число  $n$ , соответствующее энергетическому уровню, с которого совершен переход.

75. Атом водорода, двигавшийся со скоростью  $v = 3,26$  м/с, испустил фотон, соответствующий переходу из первого возбужденного состояния ( $n_2 = 2$ ) в основное ( $n_1 = 1$ ). Найти угол  $\theta$  между направлением вылета фотона и первоначальным направлением движения атома, если кинетическая энергия  $E_k$  атома осталась прежней. Массу атома водорода принять равной массе протона  $m_p$ .

76. За полгода распалось 40 % некоторого исходного радиоактивного элемента. Определить период полураспада этого элемента

77. Определить, во сколько раз начальное количество ядер радиоактивного изотопа уменьшится за 3 года, если за один год оно уменьшилось в 4 раза.

78. Какую энергию нужно затратить для разделения ядра  ${}^9_4\text{Be}$  на две  $\alpha$ -частицы и нейтрон, если удельная энергия связи ядра бериллия 6,45 МэВ, а ядра гелия 7,06 МэВ?

79. Сколько теплоты выделяется при образовании одного грамма  ${}^4_2\text{He}$  из дейтерия  ${}^2_1\text{H}$ ? Какая масса каменного угля с удельной теплотой сгорания 30 кДж/г эквивалентна в тепловом отношении полученной величине?

80. В результате синтеза двух ядер дейтерия получается одно ядро  ${}^4_2\text{He}$ . Найти энергию, выделяющуюся в результате этой реакции. Какую энергию можно получить из 1 л воды, если среди 3000 атомов водорода, входящих в состав ее молекул, имеется один атом дейтерия? Сколько суток могут светиться от этой энергии 100 лампочек мощностью 100 Вт каждая?

81. При расширении 15 моль идеального одноатомного газа давление растёт пропорционально его объёму. Насколько увеличилась температура газа, если для его нагревания потребовалось количество теплоты 1 кДж?

82. Водород массой 1 кг, находящийся при температуре 27 °С, изотермически расширили до двойного объёма, а затем изохорически охладили, уменьшив давление в 4 раза. Изобразить процессы в координатах  $p - V$ . Определить полное изменение внутренней энергии и совершенную газом работу.

83. Азот массой  $m = 35$  г, имевший температуру  $T = 295$  К, адиабатически расширился, увеличившись в объёме в 3,5 раза. Затем при изотермическом сжатии объём газа уменьшился в 2 раза. Определить полную работу газа и его конечную температуру.

84. Азот массой 500 г, находящийся под давлением 1 МПа при температуре 127 °С, подвергли изотермическому расширению, в результате которого давление газа уменьшилось в 3 раза. После этого газ подвергли адиабатному сжатию до начального давления, а затем он был изобарно сжат до начального объёма. Построить график цикла и определить работу, совершенную газом за цикл.

85. Кислород, масса которого  $m = 160$  г, при температуре  $t_1 = 27$  °С расширяется изотермически, а затем изохорно нагревается до  $t_2 = 127$  °С. Найти изменение энтропии, если известно, что начальное давление и конечное давление одинаковы.

## 2. ЭКЗАМЕН, ЗАЧЕТ

### 2.1. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ В III СЕМЕСТРЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ МТФ, ФЛА, ФМА

Согласно учебной программе в III учебном семестре по дисциплине «Физика» на МТФ, ФЛА, ФМА предусмотрено изучение следующих разделов: электромагнетизм, колебания и волны, оптика и квантовая механика.

1. Магнитное поле и его характеристики. Магнитное поле равномерно движущегося заряда. Сила Лоренца.

2. Закон Био – Савара – Лапласа и его применение к расчету магнитных полей.

3. Сила Ампера. Взаимодействие параллельных токов. Контур с током в магнитном поле.

4. Поток вектора магнитной индукции  $\vec{B}$ . Теорема Гаусса для поля вектора  $\vec{B}$ .

5. Теорема о циркуляции вектора  $\vec{B}$ . Применение теоремы о циркуляции вектора  $\vec{B}$  для расчета магнитных полей.

6. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле.

7. Электромагнитная индукция. Правило Ленца. Закон Фарадея. Полный магнитный поток.

8. Явление самоиндукции. Индуктивность контура. Взаимная индукция.

9. Энергия магнитного поля

10. Магнитное поле в веществе. Намагниченность. Вектор напряженности магнитного поля  $\vec{H}$ . Связь между векторами  $\vec{H}$  и  $\vec{J}$ .

11. Граничные условия для векторов  $\vec{B}$  и  $\vec{H}$  на границе раздела двух магнетиков.

12. Диамагнетики и парамагнетики. Ферромагнетики.

13. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла.

14. Гармонические колебания. Основные понятия теории колебаний. Энергия гармонических колебаний. Гармонические осцилляторы (пружинный маятник, физический и математический маятники, колебательный контур).

15. Сложение гармонических колебаний одного направления с одинаковыми частотами. Биения. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний.

16. Свободные затухающие колебания. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение.

17. Вынужденные колебания. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение. Резонанс. Вынужденные электромагнитные колебания.

18. Волны. Основные понятия теории волн. Уравнение плоской бегущей волны. Уравнение сферической волны. Волновое уравнение.

19. Групповая скорость. Связь групповой и фазовой скорости.

20. Энергия упругой волны. Вектор Умова. Стоячие волны. Уравнение стоячей волны.

21. Электромагнитные волны. Энергия электромагнитной волны. Вектор Умова – Пойнтинга.

22. Интерференция монохроматических волн. Условия интерференционного максимума и минимума. Опыт Юнга. Интерференция света в тонких пленках.

23. Дифракция. Принцип Гюйгенса, Принцип Гюйгенса – Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Френеля от простейших преград (отверстия и диска).

24. Дифракция Фраунгофера от щели, условия максимума и минимума. Дифракционная решетка.

25. Виды поляризации волн. Закон Малюса. Поляризация света при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков.

26. Тепловое излучение и его характеристики. Законы теплового излучения.

27. Гипотеза Планка. Формула Планка.

28. Внешний фотоэффект. Законы внешнего фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна. Фотон, его свойства. Корпускулярно-волновой дуализм света. Эффект Комптона.

29. Волновые свойства вещества. Гипотеза де Бройля.

30. Волновая функция, ее статистический смысл. Свойства волновой функции. Условие нормировки  $\Psi$ -функции.

31. Принцип неопределенностей Гейзенберга.

- 32. Общее (временное) уравнение Шредингера. Уравнение Шредингера для стационарных состояний.
- 33. Частица в бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной яме. Квантование энергии.
- 34. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
- 35. Квантовый гармонический осциллятор.
- 36. Атом водорода. Энергия электрона в атоме водорода. Квантовые числа. Спектры излучения.
- 37. Многоэлектронные атомы. Принцип Паули. Принцип минимума энергии.
- 38. Молекулы. Виды связей в молекулах. Молекулярные спектры.
- 39. Ядерные силы. Дефект массы, энергия связи ядра. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада.
- 40. Ядерные реакции. Законы сохранения в ядерных реакциях. Деление ядер, ядерный реактор. Синтез ядер; термоядерная реакция.

## **2.2. ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ В III СЕМЕСТРЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ АВТФ**

Согласно учебной программе в III учебном семестре по дисциплине «Физика» на факультете АВТ предусмотрено изучение следующих разделов: колебания и волны, волновая и квантовая оптика, элементы квантовой физики и физики твердого тела, элементы ядерной физики.

- 1. Гармонические колебания. Характеристики гармонических колебаний и их физический смысл.
- 2. Комплексная форма представления гармонических колебаний. Представление гармонических колебаний в векторной форме.
- 3. Сложение одинаково направленных гармонических колебаний.
- 4. Биения.
- 5. Сложение взаимно-перпендикулярных гармонических колебаний.
- 6. Гармонический осциллятор. Дифференциальное уравнение гармонического осциллятора. Примеры гармонических осцилляторов.
- 7. Математический маятник, физический маятник, груз на пружине, колебательный контур без потерь энергии.
- 8. Энергия механических и электромагнитных гармонических колебаний.

9. Затухающие колебания. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. Коэффициент затухания, логарифмический декремент затухания. Добротность.

10. Вынужденные колебания механические и электрические. Зависимость амплитуды и фазы вынужденных колебаний от частоты внешнего гармонического воздействия. Явление резонанса.

11. Волны. Общие свойства. Волновое уравнение.

12. Продольные и поперечные упругие волны.

13. Акустика. Скорость звука. Интенсивность звука, децибел. Частотный спектр звукового сигнала. Ультразвук, инфразвук.

14. Электромагнитные волны. Волновое уравнение.

15. Перенос энергии, вектор Умова и вектор Пойнтинга.

16. Интерференция монохроматических волн.

17. Оптическая разность хода.

18. Когерентность волн.

19. Двухлучевая интерференция Юнга.

20. Интерференция на тонкой пленке.

21. Дифракция волн. Принцип Гюйгенса – Френеля.

22. Метод зон Френеля.

23. Дифракция Фраунгофера на щели.

24. Дифракционная решетка. Условия главных максимумов и добавочных минимумов.

25. Распределение интенсивности света в дифракционной картине после прохождения решетки.

26. Разрешающая способность дифракционной решетки.

27. Поляризация света. Поляризованный и естественный свет.

28. Поляризация. Закон Малюса.

29. Поляризация при отражении. Закон Брюстера.

30. Законы теплового излучения. Формула Планка.

31. Фотоэффект. Законы Столетова. Формула Эйнштейна.

32. Корпускулярно-волновой дуализм света. Фотоны.

33. Эффект Комптона.

34. Волновые свойства микрочастиц. Формула де Бройля.

35. Дифракция электронов.

36. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.

37. Волновая функция. Уравнение Шрёдингера.

38. Стационарное уравнение Шрёдингера.

39. Движение свободной микрочастицы.

40. Электрон в прямоугольной потенциальной яме.

41. Рассеяние частиц. Туннельный эффект.
42. Атом водорода.
43. Принцип Паули.
44. Распределение Ферми – Дирака и Бозе – Эйнштейна.
45. Свободные электроны в металле.
46. Теплоемкость твердого тела. Фононы.
47. Эффект Холла.
48. Ядерные силы. Энергия связи ядра.
49. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада.
50. Ядерные реакции и законы сохранения.

### **2.3. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ В IV СЕМЕСТРЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ФПМИ**

Согласно учебной программе в IV учебном семестре по дисциплине «Физика» на факультете прикладной математики и информатики предусмотрено изучение следующих разделов: колебания и волны, волновая и квантовая оптика, элементы квантовой и ядерной физики, элементы термодинамики.

1. Гармонические колебания. Характеристики и формы представления.
2. Сложение одинаково направленных гармонических колебаний. Векторные диаграммы. Биения.
3. Сложение взаимно-перпендикулярных гармонических колебаний. Фигуры Лиссажу.
4. Пружинный маятник как гармонический осциллятор. Дифференциальное уравнение. Собственные колебания и энергия осциллятора.
5. Физический маятник как гармонический осциллятор. Дифференциальное уравнение. Собственные колебания и энергия осциллятора.
6. Колебательный контур как гармонический осциллятор. Дифференциальное уравнение. Собственные колебания и энергия осциллятора.
7. Осциллятор с трением. Дифференциальное уравнение осциллятора с трением. Режимы движения осциллятора с трением.
8. Затухающие колебания пружинного маятника. Дифференциальное уравнение и его решение. Характеристики колебаний. Энергия колебаний. Добротность.
9. Затухающие колебания в колебательном контуре. Дифференциальное уравнение и его решение. Характеристики колебаний. Энергия колебаний. Добротность.

10. Вынужденные колебания пружинного маятника. Дифференциальное уравнение и его решение. Частота, амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Явление резонанса.

11. Вынужденные колебания в колебательном контуре. Дифференциальное уравнение и его решение. Частота, амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Явление резонанса.

12. Импеданс (полное сопротивление) колебательного контура. Анализ вынужденных колебаний в колебательном контуре с использованием импеданса.

13. Плоские гармонические волны, уравнение и характеристики. Фазовая и групповая скорости волн. Волновое уравнение.

14. Волновое уравнение для поперечных упругих волн на непрерывной струне. Фазовая и групповая скорости волн на непрерывной струне.

15. Импеданс (волновое сопротивление) непрерывной струны. Волны на границе раздела.

16. Стоячие волны на непрерывной струне. Условия существования и частотный спектр собственных колебаний струны.

17. Поперечные упругие волны на дискретной струне. Фазовая и групповая скорость волн. Дисперсия.

18. Волновое уравнение для электромагнитных волн. Плоские гармонические электромагнитные волны, структура и характеристики.

19. Энергия электромагнитной волны. Вектор Пойнтинга.

20. Импеданс среды для электромагнитных волн. Электромагнитные волны на границе раздела сред.

21. Стоячие электромагнитные волны.

22. Интерференция света от двух когерентных источников. Условия максимумов и минимумов.

23. Интерференция света от многих когерентных источников. Условия максимумов и минимумов.

24. Интерференция света на тонких пленках. Полосы равного наклона и равной толщины.

25. Принцип Гюйгенса – Френеля. Построение волнового фронта.

26. Дифракция света. Метод зон Френеля.

27. Дифракция света на щели. Условия максимумов и минимумов.

28. Дифракция света на решетке. Условия максимумов и минимумов.

29. Естественный и поляризованный свет. Способы получения поляризованного света. Закон Брюстера. Закон Малюса.

30. Явление двойного лучепреломления. Волновой фронт в одноосном кристалле.
31. Тепловое излучение его характеристики и закономерности. Теория Релея и Джинса. Гипотеза Планка.
32. Фотоэффект и его закономерности. Формула Эйнштейна. Фотоны.
33. Эффект Комптона.
34. Гипотеза де Бройля. Дифракция частиц.
35. Волновая функция и соотношения неопределенностей Гейзенберга.
36. Уравнение Шрёдингера. Квантово-механическое описание свободных частиц.
37. Отражение частиц от потенциальной ступеньки.
38. Туннельный эффект.
39. Частица в одномерной бесконечной прямоугольной потенциальной яме. Квантование состояний. Энергетические уровни.
40. Частица в двумерной бесконечной прямоугольной потенциальной яме. Вырождение состояний. Квантовый гармонический осциллятор. Волновые функции и энергетический спектр.
41. Квантование орбитального момента импульса частиц.
42. Опыт Штерна и Герлаха. Спин частицы. Фермионы и бозоны.
43. Атом водорода. Квантование состояний электрона. Квантовые числа. Спектральные переходы.
44. Многоэлектронные атомы. Принцип Паули и особенности заполнения состояний. Спектральные переходы.
45. Образование молекул. Ковалентная и ионная связь.
46. Электронные, колебательные и вращательные энергетические состояния молекул. Молекулярные спектры.
47. Эксперимент Резерфорда. Структура и модели атомного ядра.
48. Энергия связи ядра. Удельная энергия связи. Дефект массы. Реакции распада и синтеза.
49. Элементарные частицы. Фундаментальные взаимодействия.
50. Термодинамический и статистический методы. Макро- и микросостояния систем. Энтропия и вероятность.
51. Функции распределения. Канонические распределения. Функции распределения Бозе и Ферми.
52. Элементы термодинамики. Первое начало термодинамики. Второе начало термодинамики.

## 2.4. СТАНДАРТНЫЕ ЗАДАЧИ К ЭКЗАМЕНУ (ЗАЧЕТУ)

### Раздел «Электромагнетизм»

1. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии  $d = 20$  см друг от друга, текут токи одинаковой силы  $I = 400$  А. В двух проводах направление токов совпадает. Вычислить силу, действующую на единицу длины каждого провода.

2. По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной  $a = 10$  см, течет ток  $I = 100$  А. Найти магнитную индукцию  $\vec{B}$  в точке пересечения диагоналей квадрата.

3. Электрон движется со скоростью  $v$  в постоянном магнитном поле с индукцией  $B$ . Чему равна работа силы, действующей на электрон?

4. Заряженная частица прошла ускоряющую разность потенциалов  $U = 104$  В и влетела в скрещенные под прямым углом электрическое и магнитное поля. Напряженность электрического поля  $E = 10$  кВ/м, индукция магнитного поля  $B = 0,10$  Тл. Найдите отношение заряда частицы  $q$  к ее массе  $m$ , если частица, двигаясь перпендикулярно обоим полям, не отклоняется от прямолинейной траектории.

5. Длинная незаряженная пластина из проводящего немагнитного материала движется равномерно со скоростью  $v = 6,28 \cdot 10^5$  м/с в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,18$  Тл. Векторы  $\vec{B}$  и  $\vec{v}$  взаимно перпендикулярны и параллельны плоскостям пластины. Определить поверхностную плотность электрических зарядов  $\sigma$  на пластине, возникающую вследствие ее движения.

### Раздел «Колебания и волны»

1. Написать уравнение косинусоидального гармонического колебания с амплитудой 5 см, если за 1 минуту совершается 150 колебаний. В начальный момент времени смещение от положения равновесия равно 2,5 см.

2. Материальная точка совершает колебания по закону синуса. Максимальная сила, действующая на точку,  $1,5 \cdot 10^{-3}$  Н, полная энергия колеблющейся точки  $2,2 \cdot 10^{-5}$  Дж. Скорость в момент времени, когда смещение равно половине амплитуды и положительно, равна  $8,2 \cdot 10^{-2}$  м/с. Определить массу колеблющейся точки, амплитуду и циклическую частоту колебаний.

3. Груз массой  $m = 0,5$  кг подвешен к пружине, жесткость которой  $k = 32$  Н/м, и совершает затухающие колебания. Определить период затухающих колебаний, если за два колебания  $N = 2$  амплитуда уменьшилась в 20 раз.

4. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 7$  мкФ и катушки индуктивностью  $L = 0,23$  Гн. Сопротивление контура  $R = 40$  Ом. Максимальный заряд конденсатора  $q_{m0} = 5,6 \cdot 10^{-4}$  Кл. Найти: а) период колебаний контура; б) логарифмический декремент затухания колебаний. Написать уравнение зависимости разности потенциалов на обкладках конденсатора от времени.

5. Найти разность фаз колебаний двух точек, отстоящих от источника колебаний вдоль оси  $x$  на расстояниях  $x_1 = 10$  м и  $x_2 = 16$  м. Период колебаний  $T = 0,04$  с, а скорость распространения  $v = 300$  м/с.

6. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна, амплитуда напряженности электрического поля которой 100 В/м. Какую энергию переносит эта волна через площадку  $50 \text{ см}^2$ , расположенную перпендикулярно направлению распространения волны, за 1 мин? Период волны  $T \ll t$ .

### Раздел «Волновая оптика»

1. Монохроматический свет длиной волны 0,5 мкм падает на мыльную пленку ( $n = 1,3$ ) толщиной 0,1 мкм, находящуюся в воздухе. Найти наименьший угол падения, при котором пленка в проходящем свете кажется темной.

2. Пучок параллельных лучей ( $\lambda = 0,6$  мкм) падает под углом  $\alpha = 30^\circ$  на мыльную пленку ( $n = 1,3$ ). При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут максимально ослаблены интерференцией, максимально усилены?

3. На дифракционную решетку нормально падает параллельный пучок света. Красная линия длиной волны  $\lambda = 630$  нм видна в спектре третьего порядка под углом  $\varphi = 60^\circ$ . Определить, какая спектральная линия видна под этим же углом в спектре четвертого порядка. Какое число штрихов на 1 мм длины имеет дифракционная решетка?

4. Радиус четвертой зоны Френеля для плоского волнового фронта  $R_4 = 3$  мм. Определить радиус двадцать пятой зоны.

5. На щель шириной  $b = 2$  мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света ( $\lambda = 589$  нм). Под какими углами  $\varphi$  будут наблюдаться дифракционные минимумы света?

6. Какой должна быть ширина щели, чтобы первый дифракционный максимум наблюдался под углом  $90^\circ$  при освещении красным светом ( $\lambda_1 = 0,760$  мкм), синим светом ( $\lambda_2 = 0,440$  мкм)? Под каким углом наблюдается минимум?

7. Угол максимальной поляризации при отражении света от некоторого кристалла равен  $\varphi = 60^\circ$ . Определить угол полного внутреннего отражения для этого вещества.

### Раздел «Квантовая оптика»

1. Красная граница фотоэффекта для цезия  $\lambda = 653$  нм. Найти скорость фотоэлектронов, выбитых при облучении цезия фиолетовым светом ( $\lambda = 400$  нм).

2. На цинковую пластинку направлен монохроматический пучок света. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов  $U = 1,5$  В. Определить длину падающей волны, если работа выхода электронов из цинка  $A = 4,0$  эВ.

3. Определить постоянную Планка  $h$ , если известно, что фотоэлектроны, вызываемые с поверхности металла светом с частотой  $\nu_1 = 2,2 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ , полностью задерживаются обратным потенциалом  $6,6$  В, а вырываемые светом с частотой  $\nu_2 = 4,4 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$  – потенциалом  $16,5$  В.

4. Электрическая печь потребляет мощность  $P = 500$  Вт. Температура ее внутренней поверхности при открытом небольшом отверстии диаметром  $d = 5,0$  см равна  $700^\circ\text{C}$ . Какая часть потребляемой мощности рассеивается стенками?

5. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра ( $\lambda_{m1} = 780$  нм) на фиолетовую ( $\lambda_{m2} = 390$  нм)?

6. Фотон с импульсом  $5,44 \cdot 10^{-22} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$  был рассеян на свободном электроны на угол  $30^\circ$  в результате эффекта Комптона. Определить импульс рассеянного фотона.

7. Первоначально покоившийся электрон приобрел кинетическую энергию  $0,06$  МэВ в результате комптоновского рассеяния на нем  $\gamma$ -фотона с энергией  $0,51$  МэВ. Чему равен угол рассеяния фотона?

### Раздел «Элементы термодинамики»

1. Определить удельную теплоемкость  $c_V$  смеси газов, содержащей  $V_1 = 5$  л азота и  $V_2 = 3$  л гелия. Газы находятся в одинаковых условиях.
2. Двухатомному газу сообщено количество теплоты  $Q = 2,093$  кДж. Газ расширяется при  $p = \text{const}$ . Найти работу  $A$  расширения газа.
3. Идеальная тепловая машина за один цикл отдает холодильнику 2000 Дж теплоты. Коэффициент полезного действия машины равен 60 %. Какую полезную работу совершает машина за один цикл?
4. Газ, совершающий цикл Карно, получил от нагревателя 5,6 кДж теплоты и за один цикл совершил работу 2,2 кДж. Определить температуру охладителя, если температура нагревателя 500 К.
5. Найти изменение  $\Delta S$  энтропии при изобарном расширении азота массой  $m = 4$  г от объема  $V_1 = 5$  л до объема  $V_2 = 9$  л.

### Раздел «Элементы квантовой механики»

1. Электрон находится в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Ширина ямы  $l = 1$  нм. Определить наименьшую разность энергетических уровней электрона.
2. Определить, при какой ширине одномерной потенциальной ямы наименьшая дискретность энергии электрона становится сравнимой с энергией теплового движения молекул гелия при температуре 300 К.
3. Частица в потенциальной яме шириной  $l = 1$  нм находится в возбужденном состоянии. Определить вероятность нахождения частицы в интервале  $0 < x < l/4$  на втором энергетическом уровне.
4. В потенциальном ящике шириной  $l$  находится электрон на третьем энергетическом уровне. Определить, в каких точках интервала  $0 < x < l$  плотность вероятности нахождения электрона равна нулю. Определить вероятность того, что электрон находится на участке интервала  $l/3 < x < 2l/3$ .

### Раздел «Элементы физики твердого тела»

1. Во сколько раз при повышении температуры от 300 до 310 К изменится проводимость собственного полупроводника, ширина запрещенной зоны которого 0,3 эВ ( $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж)?

2. Пользуясь теорией теплоемкости Дебая, определить изменение молярной внутренней энергии кристалла при нагревании его от нуля до  $T = 0,1\theta_D$  (считать  $T \ll \theta_D$ ). Характерную температуру Дебая  $\theta_D$  для данного кристалла принять равной 300 К.

### Раздел «Элементы ядерной физики»

1. Сколько атомов радона распадается за одни сутки из  $10^6$  атомов? Период полураспада радона составляет 3,82 суток.

2. Какое ядро образуется из  $\alpha$ -активного  ${}_{88}\text{Ra}^{226}$  в результате четырех  $\alpha$ -распадов и четырех  $\beta$ -распадов?

3. Вычислить энергии связи, приходящуюся на 1 нуклон ядра бора  ${}_5\text{B}^{11}$ ,  $m({}_5\text{B}^{11}) = 11,00930$  а.е.м.,  $m({}_1\text{H}^1) = 1,00783$  а.е.м.,  $m({}_0\text{n}^1) = 1,00866$  а.е.м.

4. Найти энергию, выделяющуюся при термоядерной реакции:  ${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_1\text{H}^3 + {}_1\text{H}^1$ ,  $m({}_1\text{H}^1) = 1,00783$  а.е.м.,  $m({}_1\text{H}^2) = 2,01410$  а.е.м.,  $m({}_1\text{H}^3) = 1,01605$  а.е.м.

## 2.5. СТРУКТУРА И ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО (ЗАЧЕТНОГО) БИЛЕТА

### Требования к ответам

В экзаменационных билетах, предлагаемых студентам при устранении задолженности по физике, содержится два теоретических вопроса и одна задача.

### Пример варианта экзаменационного билета по физике (III семестр, МТФ, ФЛА, ФМА)

1. Закон Био – Савара – Лапласа и его применение к расчету магнитных полей.

2. Энергия упругой волны. Вектор Умова. Стоячие волны. Уравнение стоячей волны.

3. Груз массой  $m = 0,5$  кг подвешен к пружине, жесткость которой  $k = 32$  Н/м, и совершает затухающие колебания. Определите период затухающих колебаний, если за время двух колебаний  $N = 2$  амплитуда уменьшилась в 20 раз.

### **Пример варианта зачетного билета по физике (III семестр, АВТФ)**

1. Волны. Общие свойства. Волновое уравнение.
2. Дифракция света на щели. Условия максимумов и минимумов.
3. Оценить относительную ширину спектральной линии, если известны время жизни атома водорода в возбужденном состоянии ( $\tau = 10^{-8}$  с) и длина волны излучаемого фотона  $\lambda = 0,12$  мкм.

### **Пример варианта экзаменационного билета по физике (IV семестр, ФПМИ)**

1. Дифракция света. Метод зон Френеля.
2. Эффект Комптона.
3. Написать уравнение собственных колебаний заряда контура, если в начальный момент времени заряд конденсатора  $q_0$ , а значение силы тока  $I_0$ . Емкость конденсатора  $C$ , индуктивность катушки  $L$ .

Ответы на экзаменационные (зачетные) вопросы студент осуществляет в письменном виде, затем экзаменатор проводит очное собеседование со студентом по вопросам билета.

При подготовке к ответам на теоретический вопрос студенту необходимо продумать логику изложения материала, чтобы раскрыть содержание вопроса исчерпывающим образом. При ответах на вопросы необходимо продемонстрировать достаточное владение теоретическим материалом. Оценка может быть снижена за неправильное и неуместное использование специальной физической терминологии, за нечеткое определение того или иного понятия в рамках теоретического вопроса в билете или задачи. Если ответ на вопрос был недостаточно полным, экзаменатор может задать студенту дополнительные вопросы, ответ на которые повлияет на общую оценку за экзамен.

При подготовке к ответам на теоретические вопросы удобно пользоваться изложенным ниже алгоритмом ответов.

**Явление:** указать признаки, по которым оно обнаруживается; назвать условия его протекания; взаимосвязь с другими явлениями; практическое применение.

**Эксперимент:** цель проведения; схема; ход эксперимента, результаты.

**Физическая величина:** назвать, какое явление или свойство она характеризует; дать определение; записать формулу, связывающую с другими величинами; указать единицы измерения; назвать способы измерения.

**Закон:** дать формулировку; записать математическое выражение; показать опытное подтверждение и практическое применение.

**Прибор:** объяснить, как действует, из чего состоит; назначение; применение.

**При решении задач** студент должен уметь объяснить законы и формулы, используемые в решении задачи, условия их применения; пояснить математические преобразования, осуществленные в ходе решения; оценить реальность полученного результата.

Для получения положительной оценки студент должен справиться с 50 % и более заданий билета, четко формулировать определения физических величин и физических законов и их следствий. Неспособность студента решить экзаменационную задачу, оперировать пройденными в процессе изучения физики понятиями, определениями и законами, употребление их в неправильном контексте является основанием для получения неудовлетворительной оценки.

## **2.6. ДИСТАНЦИОННЫЙ ФОРМАТ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКЗАМЕНА (ЗАЧЕТА)**

При переходе на дистанционный формат обучения предусмотрена возможность сдачи экзамена путем тестирования с помощью системы DiSpace. Для получения положительной оценки необходимо выполнить не менее 50 % тестовых заданий. По результатам тестирования со студентом проводится собеседование (очное или через вебинар), на котором он должен пояснить свои решения тестовых заданий на основании используемых определений, законов и формул.

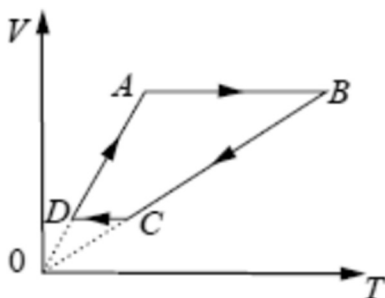
В рамках экзаменационного тестирования используются тесты с выбором одного или нескольких правильных ответов, задания на установление соответствия и задания с открытым вариантом ответа.

## Примеры тестовых заданий

При каком процессе идеального газа вся подведенная теплота равна изменению внутренней энергии газа?

- ☐ При изохорном.
- ☐ При изобарном.
- ☐ При изотермическом.
- ☐ При адиабатическом.

На рисунке приведен цикл, осуществляемый с одним молем идеального газа. Если  $\Delta U$  – внутренняя энергия газа,  $A$  – работа, совершаемая газом,  $Q$  – сообщенное газу количество теплоты, то условия  $\Delta U > 0$ ,  $A > 0$ ,  $Q > 0$  выполняются совместно на участке...

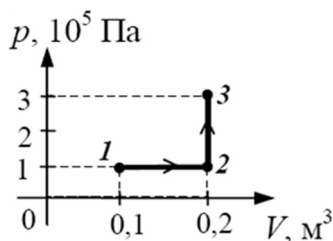


- ☐  $BC$
- ☐  $CD$
- ☐  $AB$
- ☐  $DA$

Какую работу совершает газ при переходе из состояния 1 в состояние 3?

Ответ дайте в килоджоулях, округлив до единиц.

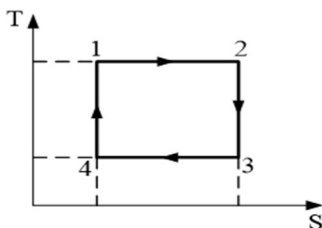
Ответ (число): \_\_\_\_\_



Оцените максимальный КПД, который может иметь тепловая машина, с температурой нагревателя  $227^\circ\text{C}$  и температурой холодильника  $27^\circ\text{C}$ .

- ☐ 100 %
- ☐ 88 %
- ☐ 60 %
- ☐ 40 %
- ☐ 12 %

На рисунке изображен цикл Карно в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия. Адиабатное расширение газа происходит на этапе ...

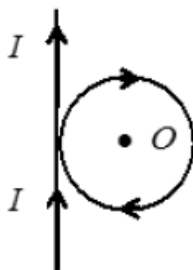


- ☐ 1 – 2
- ☐ 2 – 3
- ☐ 3 – 4
- ☐ 4 – 1

Согласно второму началу термодинамики энтропия замкнутой системы ...

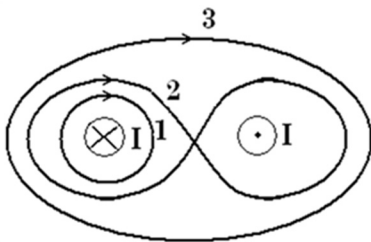
- ☐ остается постоянной.
- ☐ возрастает.
- ☐ убывает.
- ☐ не может убывать.
- ☐ не может возрастать.

Бесконечно длинный прямолинейный проводник образует плоскую петлю в виде окружности. Магнитная индукция поля в точке  $O$  направлена ...



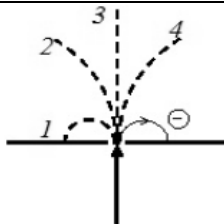
- ☐ влево.
- ☐ вправо.
- ☐ от нас.
- ☐ к нам.

Определить, вдоль какого из контуров 1, 2 или 3 циркуляция вектора магнитной индукции равна нулю, если в обоих проводах, изображенных на рисунке, во встречном направлении текут токи  $I = 10$  А. В ответе указать номер контура.



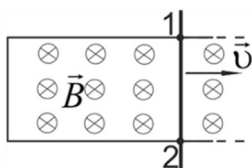
- ☐ 1.
- ☐ 2.
- ☐ 3.
- ☐ Все ответы верные.

В магнитное поле влетает электрон и движется по дуге окружности. Протон, влетевший в это поле с такой же скоростью, будет двигаться по траектории под номером ...



- ☐ 1.
- ☐ 2.
- ☐ 3.
- ☐ 4.

По двум проводящим рельсам под действием некоторой неизменной силы  $F$  с постоянной скоростью скользит без трения проводящий стержень (см. рисунок, вид сверху). Рельсы находятся в однородном магнитном поле  $B$ . Выберите все верные утверждения, правильно описывающие процессы, наблюдаемые при движении стержня.



- ☐ Ток течет в стержне от точки 1 к точке 2.
- ☐ Ток течет в стержне от точки 2 к точке 1.
- ☐ Сила тока в цепи равна нулю.
- ☐ Сила Ампера, действующая на проводник, направлена влево.
- ☐ Сила Ампера, действующая на проводник, направлена вправо.
- ☐ Сила Ампера, действующая на проводник, не меняется с течением времени.

Рамка со стороной 0,4 м находится в переменном магнитном поле. При изменении индукции магнитного поля на 100 Тл в течение 2 с в рамке возбуждается ЭДС индукции 400 В. Сколько витков имеет рамка? Ответ округлите до целых.  
 Ответ (число): \_\_\_\_\_

Представленная система уравнений Максвелла справедлива для переменного электромагнитного поля ...

- ☐ в отсутствие заряженных тел и токов проводимости.
- ☐ при наличии заряженных тел и токов проводимости.
- ☐ в отсутствие заряженных тел.
- ☐ в отсутствие токов проводимости.

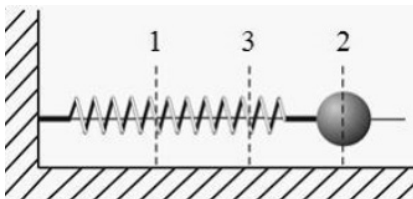
$$\oint_{(L)} \vec{E} d\vec{l} = - \int_{(S)} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

$$\oint_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = 0$$

$$\oint_{(L)} \vec{H} d\vec{l} = \int_{(S)} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}$$

$$\oint_{(S)} \vec{B} d\vec{S} = 0$$

Шарик, прикрепленный к пружине (пружинный маятник) и насаженный на горизонтальную направляющую, совершает гармонические колебания между точками 1 и 2. Положение равновесия – точка 3. Ускорение шарика равно нулю в точке ...



- ☐ 1.
- ☐ 2.
- ☐ 3.

Найдите амплитуду результирующего колебания при сложении трех колебаний:

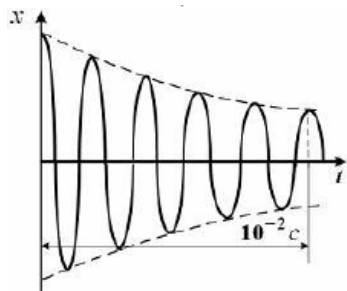
$$x_1 = A \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right); \quad x_2 = \frac{A}{2} \sin(\omega t + \pi); \quad x_3 = A \sin\left(\omega t + \frac{3\pi}{2}\right).$$

- ☐  $A/2$ .
- ☐  $3A/2$ .
- ☐  $2A$ .
- ☐  $A\sqrt{2}$ .

График зависимости координаты материальной точки от времени для затухающих колебаний имеет вид, показанный на рисунке.

Циклическая частота затухающих колебаний равна ...

- ☐  $10^2$  рад/с.
- ☐  $5 \cdot 10^2$  рад/с.
- ☐  $2\pi \cdot 10^2$  рад/с.
- ☐  $\pi \cdot 10^3$  рад/с.



---

Вынужденные колебания пружинного маятника описываются уравнением ...

- $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t.$
- $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = 0.$
- $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0.$

---

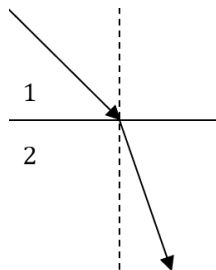
В некоторой среде расстояние от источника колебаний до точек  $A$  и  $B$  соответственно равно 12 м и 15 м. В среде распространяется плоская волна. Разность фаз колебаний точек  $A$  и  $B$  составляет  $0,75\pi$ . Чему равен модуль волнового числа?

- $\pi / 4 \text{ м}^{-1}.$
- $3\pi / 4 \text{ м}^{-1}.$
- $3 \text{ м}^{-1}.$
- $6 \text{ м}^{-1}.$

---

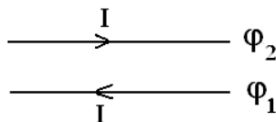
Волна переходит из среды 1 в среду 2, преломляясь, как показано на рисунке. При переходе через границу раздела уменьшается ...

- волновое число.
- скорость волны.
- частота колебаний.
- длина волны.



---

На рисунке показан участок двухпроводной линии от источника тока (генератора) к потребителю. Известно направление тока в проводах и то, что потенциалы проводов  $\varphi_2 > \varphi_1$ .



Определить направление вектора Пойнтинга между проводами  
1) от нас, 2) к нам, 3) влево, 4) вправо, 5) вверх, 6) вниз.

Запишите в качестве ответа выбранную цифру.

Ответ (число): \_\_\_\_\_

---

---

Мыльный пузырь имеет зеленую окраску ( $\lambda = 540$  нм) в области точки ближайшей к наблюдателю. Если показатель преломления мыльной воды  $n = 1,33$ , то минимальная толщина пузыря (в нанометрах) в указанной области равна... Ответ округлите до целого числа.

Ответ (число): \_\_\_\_\_

---

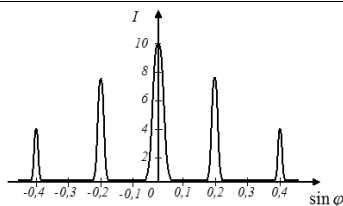
В опыте с интерферометром Майкельсона для смещения интерференционной картины на 500 полос потребовалось переместить зеркало на расстояние 0,152 мм. Длина волны падающего света в нанометрах равна ...

Запишите в качестве ответа найденную длину волны в нанометрах. Ответ округлите до единиц.

Ответ (число): \_\_\_\_\_

---

При дифракции на дифракционной решетке наблюдается зависимость интенсивности излучения с длиной волны  $\lambda = 430$  нм от синуса угла дифракции, представленная на рисунке (изображены только главные максимумы).



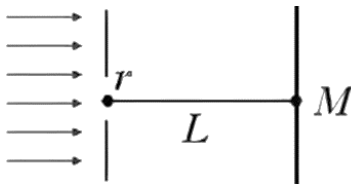
Количество штрихов на 1 мм длины решетки равно ...

Ответ округлите до единиц.

Ответ (число): \_\_\_\_\_

---

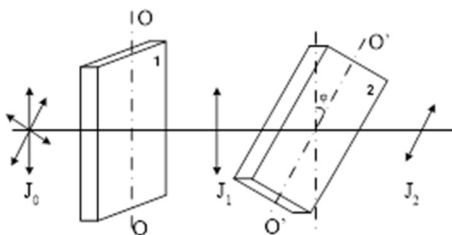
На диафрагму с круглым отверстием радиусом 1 мм падает нормально параллельный пучок света с длиной волны 500 нм. На пути лучей, прошедших через отверстие, на расстоянии 1 м помещают экран. В центре экрана в точке  $M$  будет наблюдаться ...



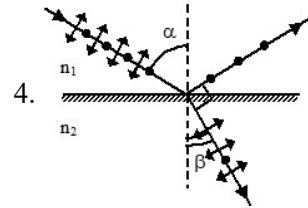
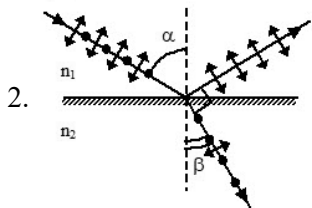
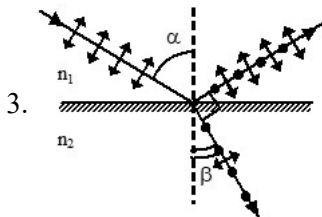
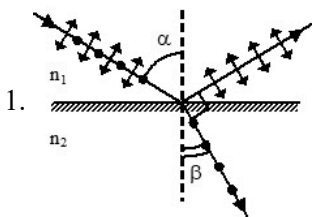
- темное пятно, так как в отверстие укладывается 2 зоны Френеля.
  - светлое пятно, так как в отверстие укладывается 3 зоны Френеля.
  - светлое пятно, так как в отверстие укладывается 4 зоны Френеля.
  - темное пятно, так как в отверстие укладывается 5 зоны Френеля.
-

На пути естественного света помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки 1 свет полностью поляризован. Если  $I_1$  и  $I_2$  – интенсивности света, прошедшего пластинки 1 и 2 соответственно, и  $I_2 = \frac{3}{4}I_1$ , тогда угол между направлениями  $OO$  и  $O'O'$  равен...

- $0^\circ$ .
- $30^\circ$ .
- $45^\circ$ .
- $60^\circ$ .
- $90^\circ$ .



Явление поляризации света при отражении правильно изображает рисунок...



Запишите в качестве ответа номер рисунка. Двусторонними стрелками и точками указано направление колебаний светового вектора.  
 Ответ (число): \_\_\_\_\_

---

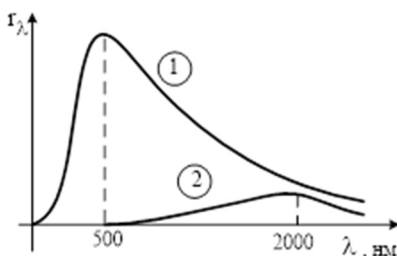
При температуре окружающей среды  $17^\circ\text{C}$  тело излучает в 81 раз больше энергии, чем поглощает. Чему равна температура тела?

Запишите ответ в градусах Цельсия.

Ответ (число): \_\_\_\_\_

---

На рисунке показаны кривые зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела от длины волны при разных температурах. Если кривая 1 соответствует спектру излучения абсолютно черного тела при температуре  $6000\text{ K}$ , то кривая 2 соответствует температуре (в кельвинах) ...



Ответ (число): \_\_\_\_\_

---

Красная граница фотоэффекта исследуемого металла соответствует длине волны  $\lambda_0 = 600\text{ нм}$ . При освещении этого металла светом с длиной волны  $\lambda$  максимальная кинетическая энергия выбитых из него фотоэлектронов в 4 раза меньше энергии падающего света. Какова длина волны  $\lambda$  падающего света?

Ответ дайте в нанометрах, округлив до единиц.

Ответ (число): \_\_\_\_\_

---

Рентгеновские лучи с длиной волны  $20\text{ пм}$  испытывают комптоновское рассеяние. Найти длину волны рентгеновских лучей, рассеянных в направлении  $\varphi = \pi$ . Комptonовская длина волны при рассеянии фотона на электроне равна  $2,4 \cdot 10^{-12}\text{ м}$ .

Ответ дайте в  $10^{-12}\text{ м}$ , округлив до десятых.

Ответ (число): \_\_\_\_\_

---

Если частицы имеют одинаковую длину волны де Бройля, то наибольшей скоростью обладают ...

- ☐ электроны.
  - ☐ протоны.
  - ☐ нейтроны.
  - ☐  $\alpha$ -частицы.
-

Положение пылинки массой  $m = 10^{-11}$  кг можно установить с неопределенностью  $\Delta x = 0,1$  мкм. Учитывая, что приведенная постоянная Планка  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с, неопределенность скорости  $\Delta v_x$  (в миллисекундах) будет не менее...

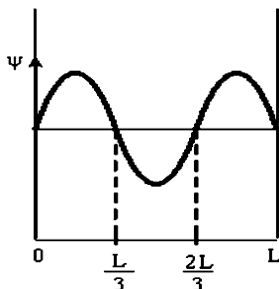
- $1,05 \cdot 10^{-18}$ .
- $1,05 \cdot 10^{-16}$ .
- $1,05 \cdot 10^{-19}$ .
- $1,05 \cdot 10^{-15}$ .
- $1,05 \cdot 10^{-17}$ .

Вероятность обнаружить электрон на участке  $(a, b)$  одномерного потенциального ящика с бесконечно высокими стенками вычисляется по формуле

$$W = \int_a^b \omega dx,$$

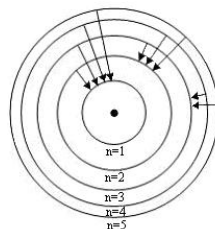
где  $\omega$  – плотность вероятности, определяемая  $\Psi$ -функцией. Если  $\Psi$ -функция имеет вид, указанный на рисунке, то вероятность обнаружить электрон на

участке  $\frac{L}{6} < x < \frac{L}{2}$  равна ...



- $1/2$ .
- $1/3$ .
- $2/3$ .
- $5/6$ .

На рисунке изображены стационарные орбиты атома водорода согласно модели Бора, а также условно изображены переходы электрона с одной стационарной орбиты на другую, сопровождающиеся излучением кванта энергии. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы дают серию Лаймана, в видимой – серию Бальмера, в инфракрасной – серию Пашена.



Наименьшей частоте кванта в серии Бальмера соответствует переход...

- $n = 5 \rightarrow n = 2$ .
- $n = 5 \rightarrow n = 1$ .
- $n = 4 \rightarrow n = 3$ .
- $n = 3 \rightarrow n = 2$ .

Установить соответствие квантовых чисел, определяющих волновую функцию электрона в атоме водорода, их физическому смыслу.

Каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

КВАНТОВОЕ ЧИСЛО

А)  $n$

Б)  $l$

В)  $m$

ЕГО ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ

1) определяет ориентации электронного облака в пространстве.

2) определяет форму электронного облака.

3) определяет размеры электронного облака.

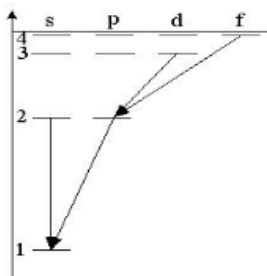
4) определяет собственный механический момент.

| А | Б | В |
|---|---|---|
|   |   |   |

Получившуюся последовательность цифр запишите в ответ (без пробелов и каких-либо символов).

Ответ (последовательность цифр): \_\_\_\_\_

При переходах электрона в атоме с одного уровня на другой закон сохранения момента импульса накладывает определенные ограничения (правило отбора). Если система энергетических уровней атома водорода имеет вид, представленный на рисунке, то **запрещенным** переходом является...



- ☐  $3d \rightarrow 2p$ .
- ☐  $4f \rightarrow 2p$ .
- ☐  $2s \rightarrow 1s$ .
- ☐  $2p \rightarrow 1s$ .

Активность некоторого изотопа за 10 суток уменьшилась на 75 %. Период полураспада этого изотопа равен ...

- ☐ 5 суток.
- ☐ 7,5 суток.
- ☐ 10 суток.
- ☐ 15 суток.
- ☐ 20 суток.

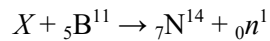
---

Благодаря какому взаимодействию существуют атомные ядра?

- Гравитационному.
- Электромагнитному.
- Сильному.
- Слабому.

---

Какая бомбардирующая частица  $X$  участвует в приведенной ядерной реакции?



- $\alpha$ -частица.
  - Электрон.
  - Протон.
  - Нейтрон.
-

## СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ

### Некоторые постоянные числа и приближенные формулы

| Числа                       | Приближенные формулы<br>( $x < 1$ )            |
|-----------------------------|------------------------------------------------|
| $\pi \approx 3,1416$        | $(1 \pm x)^k \approx 1 \pm kx$                 |
| $\pi^2 \approx 9,8696$      | $e^{\pm x} \approx 1 \pm x$                    |
| $\sqrt{\pi} \approx 1,7725$ | $\ln(1 \pm x) \approx \pm x$                   |
| $e \approx 2,7183$          | $\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x$ |
| $\lg e \approx 0,4343$      | $\cos x \approx 1 - x^2/2$                     |
| $\ln 2 \approx 0,69$        | —                                              |
| $\ln 10 \approx 2,3026$     | —                                              |

### Приставки для образования кратных и дольных единиц СИ

| Приставка | Обозначение | Множитель  | Пример   |
|-----------|-------------|------------|----------|
| фемто     | ф           | $10^{-15}$ | фм, фс   |
| пико      | п           | $10^{-12}$ | пм, пФ   |
| нано      | н           | $10^{-9}$  | нм, нКл  |
| микро     | мк          | $10^{-6}$  | мкм, мкФ |
| милли     | м           | $10^{-3}$  | мм, мН   |
| санти     | с           | $10^{-2}$  | см       |
| деци      | д           | $10^{-1}$  | дм       |
| —         | —           | 1          | м        |
| дека      | да          | $10^1$     | дам, дал |
| гекто     | г           | $10^2$     | гм, га   |
| кило      | к           | $10^3$     | км, кВ   |
| мега      | М           | $10^6$     | Мм, МПа  |
| гига      | Г           | $10^9$     | Гм, ГПа  |
| тера      | Т           | $10^{12}$  | Тм, ТГц  |

## Некоторые физические постоянные

| Физическая постоянная           | Обозначение | Значение                                                   |
|---------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------|
| Ускорение свободного падения    | $g$         | 9,81 м/с <sup>2</sup>                                      |
| Постоянная Авогадро             | $N_A$       | $6,02 \cdot 10^{23}$ 1/моль                                |
| Газовая постоянная              | $R$         | 8,31 Дж/(моль · К)                                         |
| Постоянная Больцмана            | $k$         | $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К                                 |
| Элементарный заряд              | $e$         | $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл                                    |
| Масса электрона                 | $m_e$       | $9,11 \cdot 10^{-31}$ кг                                   |
| Масса протона                   | $m_p$       | $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг                                   |
| Скорость света в вакууме        | $c$         | $3 \cdot 10^8$ м/с                                         |
| Постоянная Планка               | $h$         | $6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с                               |
| Постоянная Стефана – Больцмана  | $\sigma$    | $5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м <sup>2</sup> · К <sup>4</sup> ) |
| Постоянная закона смещения Вина | $b$         | $2,9 \cdot 10^{-3}$ м · К                                  |

## Сопоставление характеристик механических и электромагнитных колебаний

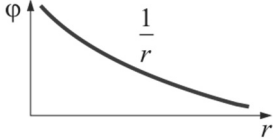
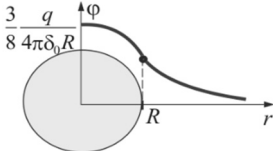
| Колебания                               |                                 |                                            |                                  |
|-----------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|
| механические                            |                                 | электромагнитные                           |                                  |
| Масса                                   | $m$                             | Индуктивность                              | $L$                              |
| Коэффициент жесткости                   | $k$                             | Обратная величина емкости                  | $\frac{1}{C}$                    |
| Собственная частота пружинного маятника | $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ | Собственная частота колебательного контура | $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ |

Продолжение таблицы

| Колебания                                       |                                                                                                                    |                                                 |                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| механические                                    |                                                                                                                    | электромагнитные                                |                                                                                                                     |
| Уравнение гармонических колебаний               | $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$                                                                             | Уравнение гармонических колебаний               | $\frac{d^2q}{d^2t} + \frac{1}{LC}q = 0$                                                                             |
| Смещение                                        | $x = x_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$                                                                               | Заряд                                           | $q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$                                                                                |
| Скорость                                        | $v = x_m \omega \sin(\omega_0 t + \varphi)$                                                                        | Сила тока                                       | $I = I_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$                                                                                |
| Ускорение                                       | $a = x_m \omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi)$                                                                    | Напряжение                                      | $U = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$                                                                                |
| Период колебаний                                | $T = 2\pi\sqrt{m/k}$                                                                                               | Период колебаний<br>Формула Томсона             | $T = 2\pi\sqrt{LC}$                                                                                                 |
| Потенциальная энергия                           | $W = mgh = \frac{kx^2}{2}$                                                                                         | Энергия электрического поля                     | $W = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}$                                                                |
| Кинетическая энергия                            | $K = \frac{mv^2}{2}$                                                                                               | Энергия магнитного поля                         | $K = \frac{LI^2}{2}$                                                                                                |
| Дифференциальное уравнение затухающих колебаний | $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{r}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m}x = 0$<br>$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2x = 0$ | Дифференциальное уравнение затухающих колебаний | $\frac{d^2q}{d^2t} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC}q = 0$<br>$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2q = 0$ |
| Решение уравнения                               | $x = x_m e^{-\beta} \cos \omega t$                                                                                 | Решение уравнения                               | $q = q_m e^{-\beta} \cos \omega t$                                                                                  |
| Коэффициент затухания                           | $\beta = \frac{r}{2m}$                                                                                             | Коэффициент затухания                           | $\beta = \frac{R}{2L}$                                                                                              |
| Циклическая частота затухающих колебаний        | $\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{r^2}{4m^2}}$                                                                   | Циклическая частота затухающих колебаний        | $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$                                                                   |

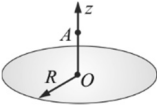
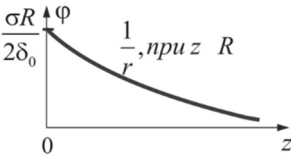
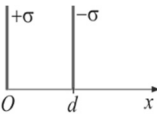
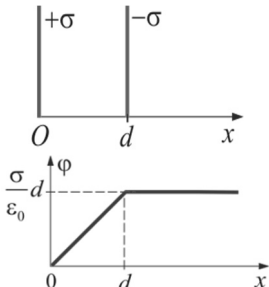
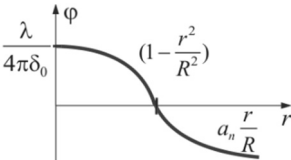
| Колебания                           |                                                                        |                                     |                                                                                   |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| механические                        |                                                                        | электромагнитные                    |                                                                                   |
| Логарифмический декремент затухания | $\chi = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T$                             | Логарифмический декремент затухания | $\chi = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}} = \beta T$                                       |
| Добротность пружинного маятника     | $Q = \frac{\omega_0}{2\beta} = \frac{\pi}{\chi} = \frac{\sqrt{km}}{r}$ | Добротность колебательного контура  | $Q = \frac{\omega_0}{2\beta} = \frac{\pi}{\chi} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$ |
| Резонансная частота                 | $\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$                   | Резонансная частота                 | $\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$                              |

## Зависимость потенциала от расстояния

| Модели распределения заряда                                      | Формулы для расчета потенциала                                                                                               | Графики зависимости потенциала от координат                                         |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Точечный заряд                                                   | $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$                                                                                       |    |
| Бесконечная равномерно заряженная плоскость                      | $\varphi = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}  x  + \varphi(0),$<br>где $\varphi(0)$ – произвольная постоянная (потенциал плоскости) |   |
| Потенциал шара, равномерно заряженного по объему (радиус шара R) | $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \left( \frac{3}{2} - \frac{r^2}{2R^2} \right)$<br>при $r \leq R$                       |  |

Продолжение таблицы

| Модели распределения заряда                                                                     | Формулы для расчета потенциала                                                                                                                                                                                                                                | Графики зависимости потенциала от координат |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                                                                                                 | $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \text{ при } r \geq R$ $\left( \varphi_R = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \right) - \text{потенциал}$ <p>заряженного шара на его поверхности</p>                                                                            |                                             |
| Сфера, заряженная равномерно с поверхностной плотностью $\sigma$ (радиус сферы $R$ )            | $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \text{ при } r \geq R,$ $\left( \varphi = \frac{\sigma R^2}{\epsilon_0 r} \right);$ $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \text{ при } r \leq R,$ $\left( \varphi = \frac{\sigma R}{\epsilon_0} \right)$                |                                             |
| Бесконечно длинный тонкий цилиндр (нить), заряженный равномерно с линейной плотностью $\lambda$ | $\varphi = -\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{r}{R}\right) \text{ при } r \geq R,$ $\varphi = \varphi_0 = \text{const} \text{ при } r \leq R$ <p>(внутри цилиндра)<br/>(значение <math>\varphi_0</math> задается: <math>\varphi_0 = 0</math>)</p> |                                             |

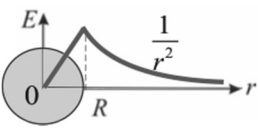
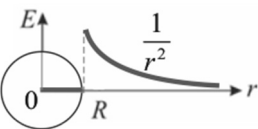
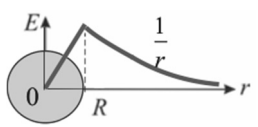
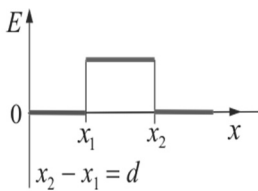
| Модели распределения заряда                                                                                                                                                           | Формулы для расчета потенциала                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Графики зависимости потенциала от координат                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Потенциал равномерно заряженного диска с поверхностной плотностью <math>\sigma</math></p>         | $\varphi_A = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left( \sqrt{R^2 + z^2} -  z  \right),$ $\varphi_0 = \frac{\sigma R}{2\epsilon_0}.$ <p>При <math>z \gg R</math></p> $\varphi = \frac{\sigma R^2}{4\epsilon_0  z } = \frac{q}{4\epsilon_0  z }$                                                                                                                                    |    |
| <p>Потенциал поля системы двух бесконечно длинных равномерно разноименно заряженных плоскостей</p>  | $\varphi = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}  x  - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} (x - d) + \text{const.}$ <p>Условие <math>\varphi(x = 0) = 0</math> выполняется при значении</p> $\text{const} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} d,$ $\varphi = \begin{cases} 0, & x \leq 0, \\ \frac{\sigma}{\epsilon_0} x, & 0 \leq x \leq d, \\ \frac{\sigma}{\epsilon_0} d, & x \geq d \end{cases}$ |    |
| <p>Потенциал поля равномерно заряженной цилиндрической области с постоянной объемной плотностью заряда <math>\rho</math></p>                                                          | $\varphi = \begin{cases} \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) + \varphi_0, & r \leq R, \\ -\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r}{R} + \varphi_0, & r \geq R \end{cases}$ <p>(<math>\varphi_0</math> – потенциал поверхности цилиндра)</p>                                                                                  |  |

| Модели распределения заряда                                                                                 | Формулы для расчета потенциала                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Графики зависимости потенциала от координат |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <p>Потенциал поля плоско-параллельной пластины толщиной <math>d</math>, равномерно заряженной по объему</p> | $\varphi(x) = \begin{cases} -\frac{\sigma}{2\epsilon_0 d} \left( x^2 + \frac{d^2}{4} \right) + \varphi_0, & -\frac{d}{2} \leq x \leq \frac{d}{2}, \\ -\frac{\sigma x}{2\epsilon_0} + \varphi_0, & x \geq \frac{d}{2}, \\ +\frac{\sigma x}{2\epsilon_0} + \varphi_0, & x \leq -\frac{d}{2} \end{cases}$ <p>(<math>\varphi_0</math> – потенциал поля на поверхности пластины)</p> |                                             |

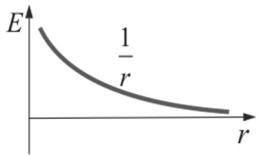
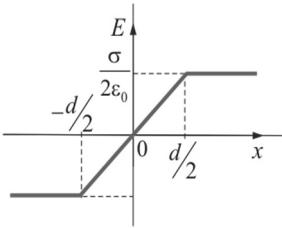
### Зависимость напряженности поля от расстояния

| Модели распределения заряда                                                            | Формулы для расчета напряженности  | Графики зависимости напряженности от координаты |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Точечный заряд                                                                         | $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ |                                                 |
| Бесконечная равномерно заряженная плоскость с поверхностной плотностью заряда $\sigma$ | $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$   |                                                 |

Продолжение таблицы

| Модели распределения заряда                                                                                                                                                          | Формулы для расчета напряженности                                                                                                       | Графики зависимости напряженности от координаты                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Шар с объемной плотностью $\rho$ радиусом $R$ , заряженный равномерно                                                                                                                | $E = \rho \frac{r}{3\epsilon_0} \text{ при } r \leq R,$ $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r^2}, r \geq R$ |    |
| Сфера с поверхностной плотностью $\sigma$ радиусом $R$ , заряженная равномерно                                                                                                       | $E = 0 \text{ при } r < R,$ $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\sigma R^2}{\epsilon_0 r^2}, r \geq R$                            |    |
| Бесконечно длинный цилиндр (нить) с объемной плотностью $\rho$ ( $\tau$ – линейная плотность заряда), заряженный равномерно                                                          | $E = \frac{\rho r}{2\epsilon_0} \text{ при } r \leq R,$ $E = \frac{r}{2\pi\epsilon_0 R} = \frac{\rho R^2}{2\epsilon_0 r}, r \geq R$     |    |
| Две бесконечно длинные параллельные плоскости с одинаковой поверхностной плотностью заряда (модель плоского конденсатора, расстояние между пластинками $d$ ), заряженные разноименно | $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$                                                                                                         |  |

Окончание таблицы

| Модели распределения заряда                                                                                            | Формулы для расчета напряженности                                                                                                                                                               | Графики зависимости напряженности от координаты                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Бесконечно длинная равномерно заряженная прямая нить (линейная плоскость заряда $\tau = \text{const}$ )                | $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}$                                                                                                                                                             |  |
| Бесконечная равномерно заряженная плоскопараллельная пластина толщиной $d$ с объемной плотностью $\rho = \text{const}$ | $E = \frac{\sigma x}{\epsilon_0 d} \text{ при } \frac{d}{2} \leq x \leq \frac{d}{2},$ $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \text{ при } x \leq -\frac{d}{2}, x \geq \frac{d}{2}$ $(\sigma = \rho d)$ |  |

### Характеристики электростатического поля

| Электростатическое поле         | Формулы и обозначения                                |
|---------------------------------|------------------------------------------------------|
| Точечный заряд                  | $q$                                                  |
| Диэлектрическая проницаемость   | $\epsilon$                                           |
| Диэлектрическая восприимчивость | $\chi = \epsilon - 1$                                |
| Сила Кулона                     | $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ q_1 q_2 }{r^2}$ |
| Напряженность поля              | $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$                        |

Продолжение таблицы

| Электростатическое поле                                      | Формулы и обозначения                                      |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Электростатическая индукция                                  | $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}$                          |
| Принцип суперпозиции                                         | $\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i$                               |
| Потенциальная энергия                                        | $U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r}$        |
| Связь силы с энергией                                        | $\vec{F} = -\text{grad} U$                                 |
| Потенциал поля                                               | $\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r}$        |
| Сложение потенциалов                                         | $\varphi = \sum_i k \frac{q_i}{r_i}$                       |
| Связь напряженности и потенциала                             | $\vec{E} = -\text{grad} \varphi = -\nabla \varphi$         |
| Поляризованность                                             | $\vec{P} = \varepsilon_0 \chi \vec{E}$                     |
| Емкость проводника                                           | $C = \frac{q}{\varphi}$                                    |
| Энергия конденсатора                                         | $W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2} q U$ |
| Объемная плотность энергии                                   | $w = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2$            |
| Работа по перемещению единичного заряда из точки 1 в точку 2 | $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$                             |
| Работа по замкнутому контуру                                 | $A = \oint \vec{E} d\vec{l} = 0$                           |

## Окончание таблицы

| Электростатическое поле                    | Формулы и обозначения                                         |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Циркуляция напряженности                   | $\oint \vec{E} d\vec{l} = 0$                                  |
| Теорема Гаусса в интегральной форме        | $\Phi_E = \oint \vec{E} d\vec{S} = \sum \frac{q}{\epsilon_0}$ |
| Теорема Гаусса в дифференциальной форме    | $\nabla \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon \epsilon_0}$           |
| Электростатическое поле – безвихревое      | $\text{rot } \vec{E} = 0$                                     |
| Электростатическое поле создается зарядами | $\nabla \vec{D} = \rho$                                       |

## Характеристики магнитного поля

| Характеристики магнитного поля | Формулы и обозначения                            |
|--------------------------------|--------------------------------------------------|
| Ток                            | $I$                                              |
| Магнитная постоянная           | $\mu_0$                                          |
| Магнитная проницаемость        | $\mu$                                            |
| Магнитная восприимчивость      | $\chi_m = \mu_r - 1$                             |
| Взаимодействие токов           | $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$               |
| Магнитная индукция             | $\vec{B} = \frac{\vec{F}}{q\vec{v} \sin \theta}$ |
| Закон Ампера (векторно)        | $\vec{F} = I [\vec{l}; \vec{B}]$                 |

## Окончание таблицы

| Характеристики магнитного поля  | Формулы и обозначения                   |
|---------------------------------|-----------------------------------------|
| Закон Ампера (скалярно)         | $F = IlB \sin(\vec{l}, \vec{B})$        |
| Сила Лоренца (векторно)         | $\vec{F}_Л = q[\vec{v}, \vec{B}]$       |
| Сила Лоренца (скалярно)         | $F_Л = qvB \sin \alpha$                 |
| Напряженность магнитного поля   | $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu}$   |
| Принцип суперпозиции            | $\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i$            |
| Намагниченность                 | $\vec{J} = \chi_m \vec{H}$              |
| Индуктивность катушки           | $L = \frac{\Phi}{I}$                    |
| Энергия катушки с током         | $W = \frac{1}{2} LI^2$                  |
| Объемная плотность энергии      | $w = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0 \mu}$ |
| Циркуляция магнитного поля      | $\oint \vec{H} d\vec{l} = I_{св}$       |
| Теорема Гаусса                  | $\oint \vec{B} d\vec{S} = 0$            |
| Магнитное поле создается токами | $\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j}$ |
| Магнитное поле – вихревое поле  | $\nabla \vec{B} = 0$                    |

## Полная система уравнений Максвелла

| Название                                | Дифференциальная форма                                                                       | Интегральная форма                                                                                  | Физический смысл                                                                            |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Закон индукции Фарадея                  | $\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$                                 | $\oint \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S}$                                    | Вихревое электрическое поле порождается изменением магнитной индукции и наоборот            |
| Обобщенный закон Био – Савара – Лапласа | $\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ | $\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E} d\vec{S}$            | Вихревое магнитное поле порождается электрическим током и изменением электрической индукции |
| Теорема Гаусса для вектора $\vec{D}$    | $\text{div } \vec{D} = \rho$                                                                 | $\oint \vec{D} d\vec{S} = \int_S \rho dV$                                                           | Электрический заряд является источником электростатического поля                            |
| Теорема Гаусса для вектора $\vec{B}$    | $\text{div } \vec{B} = 0$                                                                    | $\oint \vec{B} d\vec{S} = 0$                                                                        | Магнитная индукция не расходится (нет магнитных зарядов)                                    |
| Электростатическая индукция             | $\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$                                                      | Связь электрической индукции с напряженностью электростатического поля                              |                                                                                             |
| Магнитная индукция                      | $\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$                                                                | Связь магнитной индукции с напряженностью магнитного поля                                           |                                                                                             |
| Плотность тока                          | $\vec{j} = \sigma \vec{E}$                                                                   | Связь плотности тока с напряженностью электростатического поля (Закон Ома в дифференциальной форме) |                                                                                             |

Периодическая таблица химических элементов Д. И. Менделеева (длинная форма)\*

| Группа<br>Период | 1                                        | 2                                                        | 3                                                                     | 4                                         | 5                                              | 6                                         | 7                                           | 8                                        | 9                                        | 10                                          | 11                                            | 12                                           | 13                                           | 14                                        | 15                                         | 16                                         | 17                                           | 18                                          |                                           |
|------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1                | <sup>1</sup><br>H<br>водород<br>1.008    | <div>Обозначение элемента</div> <div>Атомный номер</div> |                                                                       |                                           |                                                |                                           |                                             |                                          |                                          |                                             |                                               |                                              |                                              |                                           |                                            |                                            |                                              |                                             | <sup>2</sup><br>He<br>гелий<br>4.0026     |
| 2                | <sup>3</sup><br>Li<br>литий<br>6.941     | <sup>4</sup><br>Be<br>бериллий<br>9.0122                 | <div>Английское название</div> <div>Относительная атомная масса</div> |                                           |                                                |                                           |                                             |                                          |                                          |                                             |                                               |                                              |                                              |                                           |                                            |                                            |                                              |                                             |                                           |
| 3                | <sup>11</sup><br>Na<br>натрий<br>22.990  | <sup>12</sup><br>Mg<br>магний<br>24.305                  | <div>Русское название</div> <div>атомная масса</div>                  |                                           |                                                |                                           |                                             |                                          |                                          |                                             |                                               |                                              |                                              |                                           |                                            |                                            |                                              |                                             |                                           |
| 4                | <sup>19</sup><br>K<br>калий<br>39.098    | <sup>20</sup><br>Ca<br>кальций<br>40.078                 | <sup>21</sup><br>Sc<br>скандий<br>44.956                              | <sup>22</sup><br>Ti<br>титан<br>47.867    | <sup>23</sup><br>V<br>ванадий<br>50.942        | <sup>24</sup><br>Cr<br>хром<br>51.996     | <sup>25</sup><br>Mn<br>марганец<br>54.938   | <sup>26</sup><br>Fe<br>железо<br>55.845  | <sup>27</sup><br>Co<br>кобальт<br>58.933 | <sup>28</sup><br>Ni<br>никель<br>58.693     | <sup>29</sup><br>Cu<br>медь<br>63.546         | <sup>30</sup><br>Zn<br>цинк<br>65.38         | <sup>31</sup><br>Ga<br>галлий<br>69.723      | <sup>32</sup><br>Ge<br>германий<br>72.630 | <sup>33</sup><br>As<br>мышьяк<br>74.922    | <sup>34</sup><br>Se<br>селен<br>78.971     | <sup>35</sup><br>Br<br>бром<br>79.904        | <sup>36</sup><br>Kr<br>криптон<br>83.798    |                                           |
| 5                | <sup>37</sup><br>Rb<br>рубидий<br>85.468 | <sup>38</sup><br>Sr<br>стронций<br>87.62                 | <sup>39</sup><br>Y<br>итрий<br>88.906                                 | <sup>40</sup><br>Zr<br>зирконий<br>91.224 | <sup>41</sup><br>Nb<br>ниобий<br>92.906        | <sup>42</sup><br>Mo<br>молибден<br>95.94  | <sup>43</sup><br>Tc<br>технеций<br>[98]     | <sup>44</sup><br>Ru<br>рутений<br>101.07 | <sup>45</sup><br>Rh<br>родий<br>101.07   | <sup>46</sup><br>Pd<br>палладий<br>106.42   | <sup>47</sup><br>Ag<br>серебро<br>107.87      | <sup>48</sup><br>Cd<br>кадмий<br>112.41      | <sup>49</sup><br>In<br>индий<br>114.82       | <sup>50</sup><br>Sn<br>олово<br>118.71    | <sup>51</sup><br>Sb<br>сурьма<br>121.76    | <sup>52</sup><br>Te<br>теллур<br>127.60    | <sup>53</sup><br>I<br>йод<br>126.90          | <sup>54</sup><br>Xe<br>ксенон<br>131.29     |                                           |
| 6                | <sup>55</sup><br>Cs<br>цезий<br>132.91   | <sup>56</sup><br>Ba<br>барий<br>137.33                   | лантаноиды                                                            |                                           | <sup>72</sup><br>Hf<br>hafnium<br>178.49       | <sup>73</sup><br>Ta<br>tantalum<br>180.95 | <sup>74</sup><br>W<br>вольфрам<br>183.84    | <sup>75</sup><br>Re<br>рений<br>186.21   | <sup>76</sup><br>Os<br>осмий<br>190.23   | <sup>77</sup><br>Ir<br>иридий<br>192.22     | <sup>78</sup><br>Pt<br>платина<br>195.08      | <sup>79</sup><br>Au<br>золото<br>196.97      | <sup>80</sup><br>Hg<br>ртуть<br>200.59       | <sup>81</sup><br>Tl<br>таллий<br>204.38   | <sup>82</sup><br>Pb<br>свинец<br>207.2     | <sup>83</sup><br>Bi<br>висмут<br>208.98    | <sup>84</sup><br>Po<br>полоний<br>[209]      | <sup>85</sup><br>At<br>астатин<br>[210]     | <sup>86</sup><br>Rn<br>радон<br>[222]     |
| 7                | <sup>87</sup><br>Fr<br>франций<br>[223]  | <sup>88</sup><br>Ra<br>радий<br>[226]                    | актиноиды                                                             |                                           | <sup>104</sup><br>Rf<br>rutherfordium<br>[261] | <sup>105</sup><br>Db<br>dubnium<br>[262]  | <sup>106</sup><br>Sg<br>seaborgium<br>[266] | <sup>107</sup><br>Bh<br>bohrium<br>[264] | <sup>108</sup><br>Hs<br>hassium<br>[277] | <sup>109</sup><br>Mt<br>meitnerium<br>[268] | <sup>110</sup><br>Ds<br>darmstadtium<br>[271] | <sup>111</sup><br>Rg<br>roentgenium<br>[272] | <sup>112</sup><br>Cn<br>copernicium<br>[285] | <sup>113</sup><br>Nh<br>nihonium<br>[286] | <sup>114</sup><br>Fl<br>flerovium<br>[289] | <sup>115</sup><br>Mc<br>moscovium<br>[290] | <sup>116</sup><br>Lv<br>livermorium<br>[293] | <sup>117</sup><br>Ts<br>tennessine<br>[294] | <sup>118</sup><br>Og<br>oganeson<br>[294] |

\* Таблица составлена на основе официальной периодической таблицы элементов (версия от 28 ноября 2016 года), представленной на веб-сайте IUPAC: [www.iupac.org](http://www.iupac.org).

\*\* Для ряда неустойчивых элементов в квадратных скобках вместо атомной массы приведено массовое число (число нуклонов в ядре) наиболее стабильного (долгоживущего) изотопа.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Петров Н. Ю.* Физика. Молекулярная физика и термодинамика. Руководство по решению задач : учеб. пособие / Н. Ю. Петров, С. А. Стрельцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2023. – 92 с.: ил. – URL: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=226825](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=226825)
2. *Мирсияпов М. Р.* Физика. Электростатика и постоянный ток. Руководство по решению задач : учеб. пособие / М. Р. Мирсияпов, Н. В. Тарасенко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2025. – 93, [1] с.: табл. – URL: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=229510](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=229510)
3. *Волькенштейн В. С.* Сборник задач по общему курсу физики / В. С. Волькенштейн. – Москва : Наука, 1985. – 384 с. ; 2002 – 327 с.
4. *Чертов А. Г.* Задачник по физике / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. – Москва : Высшая школа, 1988. – 527 с. (см.: <http://irodov.nm.ru/other/chertov/>).
5. *Беликов Б. С.* Решение задач по физике. Общие методы / Б. С. Беликов. – Москва : Высшая школа, 1986. – 256 с. (см.: <http://www.alleng.ru/d/phys/phys18.htm>).
6. Решение задач по физике / В. М. Кириллов, В. А. Давыдов, А. А. Задерновский и др. – Москва : КомКнига, 2006. – 248 с. (см.: <http://www.alleng.narod.ru/d/phys/kirillov/>).
7. *Савельев И. В.* Курс общей физики : в 5 кн. / И. В. Савельев. – Москва : АСТ, 2002.
8. *Яворский Б. М.* Справочник по физике / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф, А. К. Лебедев. – 8-е изд. – Москва : Оникс. Мир и образование, 2006. – 1056 с.
9. *Трофимова Т. И.* Курс физики. Оптика и атомная физика. Теория. Задачи и решения / Т. И. Трофимова. – Москва : Высшая школа, 2003. – 288 с.
10. *Детлаф А. А.* Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – Москва : Высшая школа, 1989.
11. *Иродов И. Е.* Электромагнетизм. Основные законы / И. Е. Иродов. – Москва : БИНОМ, Лаборатория знаний, 2006. – 319 с.
12. *Иродов И. Е.* Волновые процессы. Основные законы / И. Е. Иродов. – Москва : Лаборатория базовых знаний, 2002.
13. *Иродов И. Е.* Квантовая физика. Основные законы / И. Е. Иродов. – Москва : Лаборатория базовых знаний, 2002.

14. Физика. Электромагнетизм : методические указания : решение задач по физике для 1–2-х курсов дневной и заочной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. : Л. М. Родникова, Н. Я. Усольцева, Н. В. Чичерина]. – Новосибирск, 2012. – 53, [2] с. : ил. – URL: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000173750](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000173750)

15. Вопросы для самоконтроля знаний по физике : метод. пособие. Часть 1 / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. : А. В. Баранов, В. В. Давыдов, В. В. Христофоров]. – Новосибирск, 2014. – 24 с.

**Мирсияпов Марис Рафаэлевич  
Кренева Елена Ивановна  
Уткин Вячеслав Борисович  
Чичерина Наталья Витальевна**

**ФИЗИКА**

**ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ  
КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ. ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА  
ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ**

**Учебное пособие**

Редактор *Л.Н. Кинит*  
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*  
Дизайн обложки *А.В. Ладыжская*  
Компьютерная верстка *С.И. Ткачева*

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции  
Издание соответствует коду 95 3000 ОК 005-93 (ОКП)

---

Подписано в печать 22.10.2025. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 100 экз.  
Уч.-изд. л. 4,88. Печ. л. 5,25. Изд. № 97. Заказ № 226. Цена договорная

---

Отпечатано в типографии  
Новосибирского государственного технического университета  
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20