

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич  
Должность: ректор  
Дата подписания: 02.10.2022 23:12:07  
Уникальный программный ключ:  
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781954b730df2374d16f3c0ce531ff0fc6

## МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра нанотехнологий, микроэлектроники,  
общей и прикладной физики

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

« 17 » 01

2022 г.



### ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ОПТИКА. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА. АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА.

Методические указания к выполнению практических работ по  
физике для студентов всех технических специальностей и  
направлений подготовки

Курск 2022

УДК 531

Составители: Н.М. Игнатенко, Л.П. Петрова, Г.В. Карпова, А.Г.Беседин, В.В. Сучилкин

Рецензент

Кандидат физико-математических наук Кузько А.Е.

**Электромагнетизм. Оптика. Квантовая механика. Атомная и ядерная физика:** методические указания к выполнению практических работ для студентов всех технических специальностей и направлений подготовки/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Игнатенко Н.М., Петрова Л.П., Карпова Г.В., Беседин А.Г., Сучилкин В.В. - Курск, 2022. 52 с.: ил. 12, Библиогр.: с.50.

Содержит методические рекомендации по выполнению практических работ по физике.

Методические указания соответствуют требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС), учебным планам и рабочим программам дисциплины «Физика» для всех технических специальностей и направлений подготовки.

Предназначены для студентов всех технических специальностей и направлений подготовки с двухсеместровым курсом физики для всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

17.01.2022.

Подписано в печать Формат 60 х 84 1/16.

Усл. печ. л. 3,02. Уч.-изд. л. 2,73. Тираж 50 экз. Заказ 691. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

**СОДЕРЖАНИЕ**

Общие методические указания к решению задач и выполнению контрольных заданий .....	4
Практические занятия .....	5
Электромагнетизм .....	5
Оптика. Квантовая механика. Атомная и ядерная физика.....	21
Список рекомендуемой литературы .....	67

## **ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ**

Предназначены для использования на практических занятиях и организации самостоятельной работы студентов.

Номера задач для самостоятельной работы определяются по таблицам вариантов, которые составляются лектором потока.

Контрольное задание нужно выполнять в тетради, в соответствии с установленной формой. Для замечаний преподавателя на странице тетради следует оставить поля.

Решение задачи необходимо сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями; в тех случаях, когда это необходимо, дать чертеж, выполненный с помощью чертежных принадлежностей. Решить задачу надо в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи. При таком способе решения не производятся вычисления промежуточных величин. После получения расчетной формулы для проверки правильности полученного результата следует применить правило размерности. Числовые значения величин при подстановке их в расчетную формулу следует выражать только в единицах системы СИ. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби на соответствующую степень десяти. Вычисления по расчетной формуле надо проводить с соблюдением правил приближенных вычислений. Это относится и к случаю, когда результат получен с применением калькулятора или ЭВМ.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

### ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

#### Практическое занятие № 1

*Магнитное поле в вакууме. Магнитное взаимодействие. Магнитное поле в веществе. Поток магнитной индукции.*

115. По прямому бесконечно длинному проводнику течет ток  $I=10$  А. Определить, пользуясь теоремой о циркуляции вектора  $B$ , магнитную индукцию в точке, расположенной на расстоянии  $r=10$  см от проводника.  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $B=2 \times 10^{-5}$  Тл; б)  $B=3 \times 10^{-5}$  Тл; в)  $B=4 \times 10^{-5}$  Тл; г)  $B=5 \times 10^{-5}$  Тл; д)  $B=6 \times 10^{-5}$  Тл.

116. По прямому бесконечно длинному проводнику течет ток  $I=50$  А. определить магнитную индукцию  $B$  в точке, удаленной на расстояние  $r=5$  см от проводника.  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $B=500$  мкТл; б)  $B=400$  мкТл; в)  $B=300$  мкТл; г)  $B=200$  мкТл; д)  $B=100$  мкТл.

117. Два длинных параллельных провода находятся на расстоянии  $r=10$  см один от другого. По проводам текут в противоположных направлениях одинаковые токи  $I=10$  А каждый. Найти напряженность  $H$  магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии  $r_1=6$  см от одного и  $r_2=8$  см от другого провода.

Ответ: а)  $H=33,2$  А/м; б)  $H=23,2$  А/м; в)  $H=13,2$  А/м; г)  $H=1,32$  А/м; д)  $H=0,132$  А/м.

118. Два длинных параллельных провода находятся на расстоянии  $r=5$  см один от другого. По проводам текут в противоположных направлениях одинаковые токи. Найти величину тока в проводах, если напряженность  $H$  магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии  $r_1=4$  см от одного и  $r_2=3$  см от другого провода, равна  $H=132$  А/м.

Ответ: а)  $I=3$  А; б)  $I=2$  А; в)  $I=1$  А; г)  $I=0,5$  А; д)  $I=0,1$  А.

119. Расстояние  $d$  между двумя длинными параллельными проводами равно 5 см. По проводам в одном направлении текут одинаковые токи  $I=30$  А каждый. Найти индукцию  $B$  магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии  $r_1=4$  см от одного и  $r_2=3$  см от другого провода.  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $B=0,025 \times 10^{-4}$  Тл; б)  $B=0,25 \times 10^{-4}$  Тл; в)  $B=1,5 \times 10^{-4}$  Тл; г)

$B=2,5 \times 10^{-4}$  Тл; д)  $B=3,5 \times 10^{-4}$  Тл.

120. По двум бесконечно длинным проводам, скрещенным под прямым углом, текут токи  $I_1=30$  А и  $I_2=40$  А. Расстояние  $d$  между проводами равно 20 см. Определить магнитную индукцию  $B$  в точке  $C$ , одинаково удаленной от обоих проводов на расстояние, равное  $d$ .  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $B=20 \times 10^{-6}$  Тл; б)  $B=30 \times 10^{-6}$  Тл; в)  $B=40 \times 10^{-6}$  Тл; г)  $B=50 \times 10^{-6}$  Тл; д)  $B=60 \times 10^{-6}$  Тл.

121. Два бесконечно длинных провода скрещены под прямым углом. По проводам текут токи  $I_1=80$  А и  $I_2=60$  А. Расстояние между проводами  $d=10$  см. Определить магнитную индукцию  $B$  в точке  $A$  расположенной между проводами, удаленной от них на одинаковом расстоянии  $r=d/2$ .  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $B=6 \times 10^{-4}$  Тл; б)  $B=5 \times 10^{-4}$  Тл; в)  $B=4 \times 10^{-4}$  Тл; г)  $B=3 \times 10^{-4}$  Тл; д)  $B=2 \times 10^{-4}$  Тл.

122. По бесконечно длинному прямому проводу, согнутому под углом  $\alpha=120^\circ$ , течет ток  $I=50$  А. Найти магнитную индукцию  $B$  в точке, лежащей на биссектрисе угла, удаленной от его вершины на расстояние  $a=5$  см. Точка расположена внутри угла.  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $B=3,5 \times 10^{-4}$  Тл; б)  $B=4,5 \times 10^{-4}$  Тл; в)  $B=5,5 \times 10^{-4}$  Тл; г)  $B=6,5 \times 10^{-4}$  Тл; д)  $B=7,5 \times 10^{-4}$  Тл.

123. По бесконечно длинному прямому проводу, согнутому под углом  $\alpha=120^\circ$ , течет ток  $I=50$  А. Найти магнитную индукцию  $B$  в точке, лежащей на биссектрисе угла и удаленной от его вершины на расстояние  $a=5$  см. Точка расположена вне угла.  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $B=3,15 \times 10^{-4}$  Тл; б)  $B=2,15 \times 10^{-4}$  Тл; в)  $B=1,15 \times 10^{-4}$  Тл; г)  $B=1,5 \times 10^{-4}$  Тл; д)  $B=15 \times 10^{-4}$  Тл.

124. По отрезку прямого провода длиной  $l=80$  см течет ток  $I=50$  А. Определить магнитную индукцию  $B$  поля, создаваемого этим током, в точке  $A$  равноудаленной от концов отрезка провода и находящейся на расстоянии  $r_0=30$  см от его середины.  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $B=26,7$  мкТл; б)  $B=36,7$  мкТл; в)  $B=46,7$  мкТл; г)  $B=56,7$  мкТл; д)  $B=66,7$  мкТл..

125. По обмотке очень короткой катушки радиусом  $r=16$  см течет ток  $I=5$  А. Сколько витков  $N$  проволоки намотано на катушку,

если напряженность  $H$  магнитного поля в ее центре равна  $800 \text{ А/м}$ ?

Ответ: а)  $N=51$ ; б)  $N=61$ ; в)  $N=71$ ; г)  $N=81$ ; д)  $N=91$ .

126. По тонкому проводящему кольцу радиусом  $R=10 \text{ см}$  течет ток  $I=80 \text{ А}$ . Найти магнитную индукцию  $B$  в точке  $A$ , равноудаленной от всех точек кольца на расстоянии  $r=20 \text{ см}$ .  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7} \text{ Гн/м}$ .

Ответ: а)  $B=10,3 \times 10^{-5} \text{ Тл}$ ; б)  $B=8,3 \times 10^{-5} \text{ Тл}$ ; в)  $B=6,3 \times 10^{-5} \text{ Тл}$ ; г)  $B=5,3 \times 10^{-5} \text{ Тл}$ ; д)  $B=4,3 \times 10^{-5} \text{ Тл}$ .

127. По двум прямым параллельным проводам длиной  $l=2,5 \text{ м}$  каждый, находящимся на расстоянии  $d=20 \text{ см}$  друг от друга, текут одинаковые токи  $I=1 \text{ кА}$ , в одном направлении. Вычислить силу взаимодействия токов.  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7} \text{ Гн/м}$ .

Ответ: а)  $F=2,5 \text{ Н}$ ; б)  $F=3,5 \text{ Н}$ ; в)  $F=4,5 \text{ Н}$ ; г)  $F=5,5 \text{ Н}$ ; д)  $F=6,5 \text{ Н}$ .

128. Электрон движется в однородном магнитном поле напряженностью  $H=4000 \text{ А/м}$  со скоростью  $10^4 \text{ км/с}$ , направленной перпендикулярно к линиям напряженности. Найти силу  $F$ , с которой поле действует на электрон.  $q_e=1,6 \times 10^{-19} \text{ Кл}$ .

Ответ: а)  $F_{\perp}=8,1 \times 10^{-15} \text{ Н}$ ; б)  $F_{\perp}=10,1 \times 10^{-15} \text{ Н}$ ; в)  $F_{\perp}=6,1 \times 10^{-15} \text{ Н}$ ; г)  $F_{\perp}=12,1 \times 10^{-15} \text{ Н}$ ; д)  $F_{\perp}=4,1 \times 10^{-15} \text{ Н}$ .

129. Электрон движется в однородном магнитном поле напряженностью  $H=4000 \text{ А/м}$  со скоростью  $10^4 \text{ км/с}$ , направленной перпендикулярно к линиям напряженности. Найти радиус  $r$  окружности, по которой он движется.  $q_e=1,6 \times 10^{-19} \text{ Кл}$ ;  $m_e=9,1 \times 10^{-31} \text{ кг}$ ;  $\mu_0=12,56 \times 10^{-7} \text{ Гн/м}$ .

Ответ: а)  $r=2,1 \times 10^{-2} \text{ м}$ ; б)  $r=1,5 \times 10^{-2} \text{ м}$ ; в)  $r=1,1 \times 10^{-2} \text{ м}$ ; г)  $r=3,1 \times 10^{-2} \text{ м}$ ; д)  $r=1 \times 10^{-2} \text{ м}$ .

130. Заряженная частица, обладающая скоростью  $v=2 \times 10^6 \text{ м/с}$ , влетела в однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,52 \text{ Тл}$ . Найти отношение  $q/m$  заряда частицы к ее массе, если частица в поле описала дугу окружности радиусом  $R=4 \text{ см}$ .

Ответ: а)  $q/m=11,6 \times 10^7 \text{ Кл/кг}$ ; б)  $q/m=9,6 \times 10^7 \text{ Кл/кг}$ ; в)  $q/m=6 \times 10^7 \text{ Кл/кг}$ ; г)  $q/m=1,6 \times 10^7 \text{ Кл/кг}$ ; д)  $q/m=7,6 \times 10^7 \text{ Кл/кг}$ .

131. Вычислить скорость  $v$   $\alpha$ -частиц, выходящих из циклотрона, если, подходя к выходному окну,  $\alpha$ -частицы движутся по окружности радиусом  $R=50 \text{ см}$ . Индукция  $B$  магнитного поля циклотрона равна  $1,7 \text{ Тл}$ .  $q_e=1,6 \times 10^{-19} \text{ Кл}$ ;  $m_p=1,67 \times 10^{-27} \text{ кг}$ .

Ответ: а)  $v=0,21 \times 10^8$  м/с; б)  $v=0,61 \times 10^8$  м/с; в)  $v=0,41 \times 10^8$  м/с; г)  $v=0,51 \times 10^8$  м/с; д)  $v=0,31 \times 10^8$  м/с.

132. Ион, несущий один элементарный заряд, движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,015$  Тл по окружности радиусом  $r=10$  см. Определить импульс  $p$  иона.  $q_e=1,6 \times 10^{-19}$  Кл.

Ответ: а)  $p=6,4 \times 10^{-22}$  кгжм/с; б)  $p=5,4 \times 10^{-22}$  кгжм/с; в)  $p=4,4 \times 10^{-22}$  кгжм/с; г)  $p=3,4 \times 10^{-22}$  кгжм/с; д)  $p=2,4 \times 10^{-22}$  кгжм/с.

133. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,5$  Тл. Определить момент импульса, которым обладала частица при движении в магнитном поле, если ее траектория представляла дугу окружности радиусом  $R=0,2$  см.  $q_e=1,6 \times 10^{-19}$  Кл.

Ответ: а)  $L=6,2 \times 10^{-25}$  кгжм<sup>2</sup>/с; б)  $L=1,2 \times 10^{-25}$  кгжм<sup>2</sup>/с; в)  $L=2,2 \times 10^{-25}$  кгжм<sup>2</sup>/с; г)  $L=5,2 \times 10^{-25}$  кгжм<sup>2</sup>/с; д)  $L=3,2 \times 10^{-25}$  кгжм<sup>2</sup>/с.

134. Ток  $I=4$  А существует в короткой катушке площадью поперечного сечения  $S=150$  см<sup>2</sup>, содержащей  $N=200$  витков провода. Определить магнитный момент  $p_m$  катушки.

Ответ: а)  $p_m=18$  Ам<sup>2</sup>; б)  $p_m=16$  Ам<sup>2</sup>; в)  $p_m=14$  Ам<sup>2</sup>; г)  $p_m=12$  Ам<sup>2</sup>; д)  $p_m=10$  Ам<sup>2</sup>.

135. В короткой катушке площадью поперечного сечения  $S=150$  см<sup>2</sup>, содержащей  $N=200$  витков провода, существует ток  $I=4$  А. Определить магнитный момент катушки.

Ответ: а)  $p_m=12$  А/м<sup>2</sup>; б)  $p_m=1,2 \times 10^{-3}$  А/м<sup>2</sup>; в)  $p_m=0,12$  А/м<sup>2</sup>; г)  $p_m=12 \times 10^{-3}$  А/м<sup>2</sup>; д)  $p_m=2$  А/м<sup>2</sup>.

136. Очень короткая катушка содержит  $N=1000$  витков тонкого провода. Катушка имеет квадратное сечение со стороной длиной  $a=10$  см. Найти магнитный момент  $p_m$  катушки при силе тока  $I=1$  кА.

Ответ: а)  $p_m=1 \times 10^4$  Ам<sup>2</sup>; б)  $p_m=2 \times 10^4$  Ам<sup>2</sup>; в)  $p_m=3 \times 10^4$  Ам<sup>2</sup>; г)  $p_m=4 \times 10^4$  Ам<sup>2</sup>; д)  $p_m=5 \times 10^4$  Ам<sup>2</sup>.

137. Рамка гальванометра длиной  $a=4$  см и шириной  $b=1,5$  см, содержит  $N=200$  витков тонкой проволоки. Каков магнитный момент  $p_m$  рамки, когда по виткам потечет ток силой  $I=1$  мА?

Ответ: а)  $p_m=5,2 \times 10^{-6}$  Ам<sup>2</sup>; б)  $p_m=4,2 \times 10^{-6}$  Ам<sup>2</sup>; в)  $p_m=3,2 \times 10^{-6}$  Ам<sup>2</sup>; г)  $p_m=2,2 \times 10^{-6}$  Ам<sup>2</sup>; д)  $p_m=1,2 \times 10^{-6}$  Ам<sup>2</sup>.



138. По кольцу радиусом  $R$  течет ток. На оси кольца на расстоянии  $d=1$  м от его плоскости магнитная индукция  $B=10$  нТл. Определить магнитный момент  $p_m$  кольца с током. Считать  $R$  много меньшим  $d$ .  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $p_m=7 \times 10^{-2}$  Ажм<sup>2</sup>; б)  $p_m=6 \times 10^{-2}$  Ажм<sup>2</sup>; в)  $p_m=5 \times 10^{-2}$  Ажм<sup>2</sup>; г)  $p_m=4 \times 10^{-2}$  Ажм<sup>2</sup>; д)  $p_m=3 \times 10^{-2}$  Ажм<sup>2</sup>.

139. Определить степень неоднородности магнитного поля ( $DB/Dx$ ), если максимальная сила, действующая на точечный магнитный диполь,  $F_{\text{макс}}=10^{-3}$  Н. Магнитный момент точечного диполя  $p_m=2 \times 10^{-3}$  Ажм<sup>2</sup>.

Ответ: а)  $DB/Dx=0,6$  Тл/м; б)  $DB/Dx=0,5$  Тл/м; в)  $DB/Dx=0,4$  Тл/м; г)  $DB/Dx=0,3$  Тл/м; д)  $DB/Dx=0,5$  Тл/м.

## Практическое занятие № 2

*Явление электромагнитной индукции. Самоиндукция.*

140. Рамка гальванометра длиной  $a=4$  см и шириной  $b=1,5$  см, содержащая  $N=200$  витков тонкой проволоки, находится в магнитном поле с индукцией  $B=0,1$  Тл. Плоскость рамки параллельна линиям индукции. Какой вращающий момент  $M$  действует на рамку, когда по виткам потечет ток силой  $I=1$  мА?

Ответ: а)  $M=42 \times 10^{-6}$  Нжм; б)  $M=32 \times 10^{-6}$  Нжм; в)  $M=22 \times 10^{-6}$  Нжм; г)  $M=12 \times 10^{-6}$  Нжм; д)  $M=0,2 \times 10^{-6}$  Нжм.

141. Проволочный виток радиусом  $r=5$  см, по которому течет ток  $I=20$  А, находится в однородном магнитном поле напряженностью  $H=2 \times 10^3$  А/м. Плоскость витка образует угол  $\alpha=60^\circ$  с направлением поля. Найти вращающий момент  $M$ , действующий на виток.  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $M=0,2 \times 10^{-3}$  Нжм; б)  $M=3 \times 10^{-3}$  Нжм; в)  $M=0,4 \times 10^{-3}$  Нжм; г)  $M=0,5 \times 10^{-3}$  Нжм; д)  $M=0,6 \times 10^{-3}$  Нжм.

142. Короткая катушка площадью  $S$  поперечного сечения, равной  $150$  см<sup>2</sup>, содержит  $N=200$  витков провода, по которому течет ток  $I=4$  А. Катушка помещена в однородное магнитное поле напряженностью  $H=8$  кА/м. Определить вращающий момент  $M$ , действующий на нее со стороны поля, если ось катушки, лежащая в ее плоскости, составляет угол  $\alpha=60^\circ$  с линиями индукции.  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $M=20 \times 10^{-3}$  Нжм; б)  $M=30 \times 10^{-3}$  Нжм; в)  $M=40 \times 10^{-3}$  Нжм; г)

$M=50 \times 10^{-3}$  Нм; д)  $M=60 \times 10^{-3}$  Нм.

143. Квадратная рамка со стороной 2 см, содержащая 100 витков тонкого провода подвешена на упругой нити, постоянная кручения которой  $9,8 \times 10^{-6}$  (Нм)/град. Плоскость рамки совпадает с направлением линий напряженности внешнего магнитного поля. Определить напряженность внешнего магнитного поля, если при пропускании по рамке тока силой 1 А она повернулась на угол  $60^\circ$ .  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $H=4,3 \times 10^4$  А/м; б)  $H=3,3 \times 10^4$  А/м; в)  $H=2,3 \times 10^4$  А/м; г)  $H=1,3 \times 10^4$  А/м; д)  $H=0,3 \times 10^4$  А/м.

145. Плоский контур, площадь  $S$  которого равна  $25$  см<sup>2</sup>, находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,04$  Тл. Определить магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий контур, если его плоскость составляет угол  $\beta=30^\circ$  с линиями индукции.

Ответ: а)  $\Phi=10 \times 10^{-6}$  Вб; б)  $\Phi=20 \times 10^{-6}$  Вб; в)  $\Phi=30 \times 10^{-6}$  Вб; г)  $\Phi=40 \times 10^{-6}$  Вб; д)  $\Phi=50 \times 10^{-6}$  Вб.

146. Плоский контур площадью  $S=20$  см<sup>2</sup> находится в однородном магнитном поле ( $B=0,03$  Тл). Определить магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий контур, если плоскость его составляет угол  $\beta=60^\circ$  с направлением линий индукции.

Ответ: а)  $\Phi=62 \times 10^{-6}$  Вб; б)  $\Phi=52 \times 10^{-6}$  Вб; в)  $\Phi=42 \times 10^{-6}$  Вб; г)  $\Phi=32 \times 10^{-6}$  Вб; д)  $\Phi=22 \times 10^{-6}$  Вб.

147. На длинный картонный каркас диаметром  $D=5$  см уложена виток к витку однослойная обмотка из проволоки диаметром  $d=0,2$  мм. Определить магнитный поток  $\Phi$ , создаваемый таким соленоидом при силе тока  $I=0,5$  А.  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $\Phi=7,2 \times 10^{-6}$  Вб; б)  $\Phi=6,2 \times 10^{-6}$  Вб; в)  $\Phi=5,2 \times 10^{-6}$  Вб; г)  $\Phi=4,2 \times 10^{-6}$  Вб; д)  $\Phi=3,2 \times 10^{-6}$  Вб.

148. Соленоид длиной  $l=1$  м и сечением  $S=16$  см<sup>2</sup> содержит  $N=200$  витков. Вычислить потокосцепление  $\Psi$  при силе тока  $I$  в обмотке 10 А.  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $\Psi=0,4 \times 10^{-3}$  Вб; б)  $\Psi=0,6 \times 10^{-3}$  Вб; в)  $\Psi=0,8 \times 10^{-3}$  Вб; г)  $\Psi=1,0 \times 10^{-3}$  Вб; д)  $\Psi=1,8 \times 10^{-3}$  Вб.

149. Магнитный поток  $\Phi$  сквозь сечение соленоида равен 50 мкВб. Длина соленоида  $l=50$  см. Найти магнитный момент  $p_m$  соленоида, если его витки плотно прилегают друг к другу.

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $p_m = 50$  Ам<sup>2</sup>; б)  $p_m = 40$  Ам<sup>2</sup>; в)  $p_m = 30$  Ам<sup>2</sup>; г)  $p_m = 20$  Ам<sup>2</sup>; д)  $p_m = 10$  Ам<sup>2</sup>.

150. Определить магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий соленоид, если его длина  $l = 50$  см и магнитный момент  $p_m = 0,4$  Ам<sup>2</sup>.  
 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $\Phi = 1 \times 10^{-6}$  Вб; б)  $\Phi = 2 \times 10^{-6}$  Вб; в)  $\Phi = 3 \times 10^{-6}$  Вб; г)  $\Phi = 4 \times 10^{-6}$  Вб; д)  $\Phi = 5 \times 10^{-6}$  Вб.

156. Квадратный контур со стороной  $a = 10$  см, по которому течет ток  $I = 50$  А, свободно установился в однородном магнитном поле ( $B = 10$  мТл). Определить изменение  $DW$  потенциальной энергии контура при повороте вокруг оси, лежащей в плоскости контура, на угол  $j = 180^\circ$ .

Ответ: а)  $DW = 6 \times 10^{-3}$  Дж; б)  $DW = 8 \times 10^{-3}$  Дж; в)  $DW = 10 \times 10^{-3}$  Дж; г)  $DW = 12 \times 10^{-3}$  Дж; д)  $DW = 14 \times 10^{-3}$  Дж.

162. Определить число ампер витков тороида без сердечника, внешний диаметр которого  $d_1 = 30$  см, а внутренний диаметр  $d_2 = 20$  см. Индукция магнитного поля внутри тороида  $B = 1,6 \times 10^{-3}$  Тл.  
 $\mu_0 = 12,56 \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $NI = 200$  ав; б)  $NI = 400$  ав; в)  $NI = 600$  ав; г)  $NI = 800$  ав; д)  $NI = 1000$  ав.

163. Определить напряженность магнитного поля на оси тороида без сердечника, по обмотке которого, содержащей  $N = 200$  витков, идет ток силой 5 А. Внешний диаметр тороида  $d_1 = 30$  см, внутренний диаметр  $d_2 = 20$  см.

Ответ: а)  $H = 1,3 \times 10^3$  А/м; б)  $H = 2,3 \times 10^3$  А/м; в)  $H = 3,3 \times 10^3$  А/м; г)  $H = 4,3 \times 10^3$  А/м; д)  $H = 5,3 \times 10^3$  А/м.

164. Чугунный тороид, длина которого по средней линии  $l_1 = 1,00$  м, имеет воздушный зазор  $l_2 = 5,00$  мм. По обмотке тороида, пустили ток  $I = 4$  А, в результате чего индукция в зазоре стала  $B_2 = 0,5$  Тл. Сколько витков содержит обмотка тороида? Рассеиванием магнитного поля в воздушном зазоре можно пренебречь. При индукции магнитного поля в зазоре  $B_2 = 0,5$  Тл, напряженность магнитного поля в сердечнике тороида  $H = 1500$  А/м.

Ответ: а)  $N = 773$ ; б)  $N = 873$ ; в)  $N = 973$ ; г)  $N = 1073$ ; д)  $N = 1171$ .

165. В проволочное кольцо, присоединенное к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. При

этом по цепи прошел заряд  $q=50$  мкКл. Определить изменение магнитного потока  $D\Phi$  через кольцо, если сопротивление цепи гальванометра  $R=10$  Ом.

Ответ: а)  $D\Phi=0,5 \times 10^{-3}$  Вб; б)  $D\Phi=0,4 \times 10^{-3}$  Вб; в)  $D\Phi=0,3 \times 10^{-3}$  Вб; г)  $D\Phi=0,2 \times 10^{-3}$  Вб; д)  $D\Phi=0,1 \times 10^{-3}$  Вб.

166. Проволочный виток радиусом  $r=4$  см, имеющий сопротивление  $R=0,01$  Ом, находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,04$  Тл. Плоскость витка составляет угол  $\beta=30^\circ$  с линиями индукции поля. Какое количество электричества  $q$  протечет по витку, если магнитное поле исчезнет?

Ответ: а)  $q=16 \times 10^{-3}$  Кл; б)  $q=14 \times 10^{-3}$  Кл; в)  $q=10 \times 10^{-3}$  Кл; г)  $q=6 \times 10^{-3}$  Кл; д)  $q=2 \times 10^{-3}$  Кл.

167. Проволочный виток диаметром  $D=5$  см и сопротивлением  $R=0,02$  Ом находится в однородном магнитном поле ( $B=0,3$  Тл). Плоскость витка составляет угол  $\beta=40^\circ$  с линиями индукции. Какой заряд  $q$  протечет по витку при выключении магнитного поля?

Ответ: а)  $q=1,9 \times 10^{-3}$  Кл; б)  $q=0,19 \times 10^{-3}$  Кл ; в)  $q=9 \times 10^{-3}$  Кл; г)  $q=19 \times 10^{-3}$  Кл; д)  $q=29 \times 10^{-3}$  Кл.

168. На расстоянии  $a=1$  м от длинного прямого провода с током  $I=1$  кА находится кольцо радиусом  $r=1$  см. Кольцо расположено так, что поток, пронизывающий его, максимален. Определить количество электричества  $q$ , которое протечет по кольцу, когда ток в проводнике будет выключен. Сопротивление  $R$  кольца равно 10 Ом. Поле в пределах кольца считать однородным.

Ответ: а)  $q=6,28 \times 10^{-9}$  Кл; б)  $q=5,28 \times 10^{-9}$  Кл; в)  $q=4,28 \times 10^{-9}$  Кл; г)  $q=3,28 \times 10^{-9}$  Кл; д)  $q=2,28 \times 10^{-9}$  Кл.

169. Проволочное кольцо радиусом  $r=10$  см лежит на столе. Какое количество электричества  $q$  протечет по кольцу, если его повернуть с одной стороны на другую? Сопротивление  $R$  кольца равно 1 Ом. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна 50 мкТл.

Ответ: а)  $q=3,14 \times 10^{-6}$  Кл; б)  $q=4,14 \times 10^{-6}$  Кл; в)  $q=5,14 \times 10^{-6}$  Кл; г)  $q=6,14 \times 10^{-6}$  Кл; д)  $q=7,14 \times 10^{-6}$  Кл.

170. Рамка из провода сопротивлением  $R=0,04$  Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле ( $B=0,6$  Тл). Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции.

Площадь рамки  $S=200 \text{ см}^2$ . Определить заряд  $q$ , который потечет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции от  $0$  до  $45^\circ$ .

Ответ: а)  $q=108 \times 10^{-3} \text{ Кл}$ ; б)  $q=98 \times 10^{-3} \text{ Кл}$ ; в)  $q=88 \times 10^{-3} \text{ Кл}$ ; г)  $q=78 \times 10^{-3} \text{ Кл}$ ; д)  $q=68 \times 10^{-3} \text{ Кл}$ .

171. Рамка из провода сопротивлением  $R=0,04 \text{ Ом}$  равномерно вращается в однородном магнитном поле ( $B=0,6 \text{ Тл}$ ). Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки  $S=200 \text{ см}^2$ . Определить заряд  $q$ , который потечет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции от  $45^\circ$  до  $90^\circ$ .

Ответ: а)  $q=0,61 \text{ Кл}$ ; б)  $q=0,51 \text{ Кл}$ ; в)  $q=0,41 \text{ Кл}$ ; г)  $q=0,31 \text{ Кл}$ ; д)  $q=0,21 \text{ Кл}$ .

172. Тонкий медный провод массой  $m=1 \text{ г}$  согнут в виде квадрата, и его концы замкнуты. Квадрат помещен в однородное магнитное поле ( $B=0,1 \text{ Тл}$ ) так, что его плоскость перпендикулярна линиям поля. Определить заряд  $q$ , который потечет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию.  $r_{\text{Cu}}=1,7 \times 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ; плотность меди  $\rho=8,9 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Ответ: а)  $q=61 \times 10^{-3} \text{ Кл}$ ; б)  $q=1 \times 10^{-3} \text{ Кл}$ ; в)  $q=5,1 \times 10^{-3} \text{ Кл}$ ; г)  $q=51 \times 10^{-3} \text{ Кл}$ ; д)  $q=41 \times 10^{-3} \text{ Кл}$ .

173. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,4 \text{ Тл}$  в плоскости, перпендикулярной линиям индукции поля, вращается стержень длиной  $l=10 \text{ см}$ . Ось вращения проходит через один из концов стержня. Определить разность потенциалов  $U$  на концах стержня при частоте вращения  $n=16 \text{ с}^{-1}$ .

Ответ: а)  $U=0,5 \text{ В}$ ; б)  $U=0,4 \text{ В}$ ; в)  $U=0,3 \text{ В}$ ; г)  $U=0,2 \text{ В}$ ; д)  $U=0,1 \text{ В}$ .

174. В однородном магнитном поле ( $B=0,1 \text{ Тл}$ ) равномерно с частотой  $n=5 \text{ с}^{-1}$  вращается стержень длиной  $l=50 \text{ см}$  так, что плоскость его вращения перпендикулярна линиям напряженности, а ось вращения проходит через один из его концов. Определить индуцируемую на концах стержня разность потенциалов  $U$ .

Ответ: а)  $U=0,5 \text{ В}$ ; б)  $U=0,4 \text{ В}$ ; в)  $U=0,3 \text{ В}$ ; г)  $U=0,2 \text{ В}$ ; д)  $U=0,1 \text{ В}$ .

175. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,5 \text{ Тл}$

вращается с частотой  $n=10 \text{ с}^{-1}$  стержень длиной  $l=20 \text{ см}$ . Ось вращения параллельна линиям индукции и проходит через один из концов стержня перпендикулярно его оси. Определить разность потенциалов  $U$  на концах стержня.

Ответ: а)  $U=0,53 \text{ В}$ ; б)  $U=0,63 \text{ В}$ ; в)  $U=0,73 \text{ В}$ ; г)  $U=0,83 \text{ В}$ ; д)  $U=0,93 \text{ В}$ .

176. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,5 \text{ Тл}$  в плоскости, перпендикулярной линиям индукции поля, вращается стержень длиной  $l=20 \text{ см}$ . Ось вращения проходит через один из концов стержня. Определить разность потенциалов  $U$  на концах стержня при частоте вращения  $n=10 \text{ с}^{-1}$ .

Ответ: а)  $U=330 \text{ мВ}$ ; б)  $U=430 \text{ мВ}$ ; в)  $U=530 \text{ мВ}$ ; г)  $U=630 \text{ мВ}$ ; д)  $U=730 \text{ мВ}$ .

177. Прямой проводящий стержень длиной  $l=40 \text{ см}$  находится в однородном магнитном поле ( $B=0,1 \text{ Тл}$ ). Концы стержня замкнуты гибким проводом, находящимся вне поля. Сопротивление всей цепи  $R=0,5 \text{ Ом}$ . Какая мощность  $P$  потребуется для равномерного перемещения стержня перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью  $v=10 \text{ м/с}$ ?

Ответ: а)  $P=0,12 \text{ Вт}$ ; б)  $P=0,22 \text{ Вт}$ ; в)  $P=0,32 \text{ Вт}$ ; г)  $P=0,42 \text{ Вт}$ ; д)  $P=0,52 \text{ Вт}$ .

178. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,35 \text{ Тл}$  равномерно с частотой  $n=480 \text{ мин}^{-1}$  вращается рамка, содержащая  $N=500$  витков площадью  $S=50 \text{ см}^2$ . Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Определить максимальную ЭДС индукции  $E_{\max}$ , возникшую в рамке.

Ответ: а)  $E_{\max}=84 \text{ В}$ ; б)  $E_{\max}=74 \text{ В}$ ; в)  $E_{\max}=64 \text{ В}$ ; г)  $E_{\max}=54 \text{ В}$ ; д)  $E_{\max}=44 \text{ В}$ .

179. Рамка, содержащая  $N=200$  витков тонкого провода, может свободно вращаться относительно оси, лежащей в плоскости рамки. Площадь рамки  $S=50 \text{ см}^2$ . Ось рамки перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля ( $B=0,05 \text{ Тл}$ ). Определить максимальную Э.Д.С.  $E_{\max}$ , которая индуцируется в рамке при ее вращении с частотой  $n=40 \text{ с}^{-1}$ .

Ответ: а)  $E_{\max}=32,6 \text{ В}$ ; б)  $E_{\max}=12,6 \text{ В}$ ; в)  $E_{\max}=42,6 \text{ В}$ ; г)  $E_{\max}=1,26 \text{ В}$ ; д)  $E_{\max}=2,6 \text{ В}$ .

180. Короткая катушка, содержащая  $N=1000$  витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,04$  Тл с угловой скоростью  $\omega=5$  рад/с относительно оси, совпадающей с диаметром катушки и перпендикулярной линиям индукции поля. Определить мгновенное значение ЭДС индукции  $E_i$  для тех моментов времени  $t$ , когда плоскость катушки составляет угол  $\alpha=60^\circ$  с линиями индукции поля. Площадь  $S$  катушки равна  $100 \text{ см}^2$ .

Ответ: а)  $E_i=0,5$  В; б)  $E_i=1$  В; в)  $E_i=1,5$  В; г)  $E_i=2,5$  В; д)  $E_i=3,5$  В.

181. Короткая катушка, содержащая  $N=10^3$  витков, равномерно вращается с частотой  $n=10 \text{ с}^{-1}$  относительно оси АВ, лежащей в плоскости катушки и перпендикулярной линиям однородного магнитного поля ( $B=0,04$  Тл). Определить мгновенное значение ЭДС индукции для тех моментов времени, когда плоскость катушки составляет угол  $\alpha=60^\circ$  с линиями поля. Площадь катушки  $S=100 \text{ см}^2$ .

Ответ: а)  $E_i=1,26$  В; б)  $E_i=12,6$  В; в)  $E_i=126$  В; г)  $E_i=26$  В; д)  $E_i=56$  В.

182. Рамка площадью  $S=200 \text{ см}^2$  равномерно вращается с частотой  $n=10 \text{ с}^{-1}$  относительно оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля ( $B=0,2$  Тл). Каково среднее значение ЭДС индукции  $\langle E_i \rangle$  за время, в течение которого магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий рамку, изменится от нуля до максимального значения?

Ответ: а)  $\langle E_i \rangle=0,06$  В; б)  $\langle E_i \rangle=0,16$  В; в)  $\langle E_i \rangle=0,26$  В; г)  $\langle E_i \rangle=0,36$  В; д)  $\langle E_i \rangle=0,46$  В.

183. Соленоид сечением  $S=10 \text{ см}^2$  содержит  $N=10^3$  витков. При силе тока  $I=5$  А магнитная индукция  $B$  поля внутри соленоида равна  $0,05$  Тл. Определить индуктивность  $L$  соленоида.

Ответ: а)  $L=0,02$  Гн; б)  $L=0,015$  Гн; в)  $L=0,02$  Гн; г)  $L=0,01$  Гн; д)  $L=0,05$  Гн.

184. Соленоид с сердечником из немагнитного материала содержит  $N=1200$  витков провода, плотно прилегающих друг к другу. При силе тока  $I=4$  А магнитный поток  $\Phi=6$  мкВб. Определить индуктивность  $L$  соленоида.

Ответ: а)  $L=5,8 \times 10^{-3}$  Гн; б)  $L=4,8 \times 10^{-3}$  Гн; в)  $L=3,8 \times 10^{-3}$  Гн; г)  $L=2,8 \times 10^{-3}$  Гн; д)  $L=1,8 \times 10^{-3}$  Гн.

185. По длинному соленоиду с немагнитным сердечником сечением  $S=5,0 \text{ см}^2$ , содержащему  $N=1200$  витков, течет ток силой  $I=2,00 \text{ А}$ . Индукция магнитного поля в центре соленоида  $B=10,0 \text{ мТл}$ . Определить его индуктивность.

Ответ: а)  $L=3,0 \times 10^{-3} \text{ Гн}$ ; б)  $L=4,0 \times 10^{-3} \text{ Гн}$ ; в)  $L=5,0 \times 10^{-3} \text{ Гн}$ ; г)  $L=6,0 \times 10^{-3} \text{ Гн}$ ; д)  $L=7,0 \times 10^{-3} \text{ Гн}$ .

186. По катушке индуктивностью  $L=8 \text{ мкГн}$  течет ток  $I=6 \text{ А}$ . Определить среднее значение ЭДС  $\langle E_s \rangle$  самоиндукции, возникающей в контуре, если сила тока изменяется практически до нуля за время  $\Delta t=5 \text{ мс}$ .

Ответ: а)  $\langle E_s \rangle=12,6 \times 10^{-3} \text{ В}$ ; б)  $\langle E_s \rangle=7,6 \times 10^{-3} \text{ В}$ ; в)  $\langle E_s \rangle=10,6 \times 10^{-3} \text{ В}$ ; г)  $\langle E_s \rangle=8,6 \times 10^{-3} \text{ В}$ ; д)  $\langle E_s \rangle=9,6 \times 10^{-3} \text{ В}$ .

187. В электрической цепи, содержащей резистор сопротивлением  $R=20 \text{ Ом}$  и катушку индуктивностью  $L=0,06 \text{ Гн}$ , течет ток  $I=20 \text{ А}$ . Определить силу тока  $I$  в цепи через  $t=0,2 \text{ мс}$  после ее размыкания.

Ответ: а)  $I=20,7 \text{ А}$ ; б)  $I=18,7 \text{ А}$ ; в)  $I=28,7 \text{ А}$ ; г)  $I=16,7 \text{ А}$ ; д)  $I=38,7 \text{ А}$ .

188. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением  $R=20 \text{ Ом}$ . Через время  $t=0,1 \text{ с}$  сила тока  $I$  в катушке достигла  $0,95$  предельного значения. Определить индуктивность  $L$  катушки.

Ответ: а)  $L=0,67 \text{ Гн}$ ; б)  $L=0,60 \text{ Гн}$ ; в)  $L=0,70 \text{ Гн}$ ; г)  $L=0,77 \text{ Гн}$ ; д)  $L=0,87 \text{ Гн}$ .

189. Две катушки намотаны на один общий сердечник. Когда сила тока  $I_1$  в первой катушке изменяется со скоростью  $dI_1/dt=5 \text{ А/с}$ , во второй катушке возникает ЭДС индукции  $E_2=0,1 \text{ В}$ . Определить коэффициент  $L_{21}$  взаимной индукции катушек.

Ответ: а)  $L_{21}=0,04 \text{ Гн}$ ; б)  $L_{21}=0,03 \text{ Гн}$ ; в)  $L_{21}=0,02 \text{ Гн}$ ; г)  $L_{21}=0,01 \text{ Гн}$ ; д)  $L_{21}=0,25 \text{ Гн}$ .

### Практическое занятие №3

*Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле. Энергия магнитного поля.*

190. Плоский квадратный контур со стороной  $a=10 \text{ см}$ , по которому течет ток  $I=100 \text{ А}$ , свободно установился в однородном магнитном поле индукцией  $B=1 \text{ Тл}$ . Определить работу, совершаемую внешними силами при повороте контура



относительно оси, проходящей через середину его противоположных сторон, на угол  $\alpha=90^\circ$ . При повороте контура сила тока в нем поддерживается постоянной.

Ответ: а)  $A=5$  Дж; б)  $A=4$  Дж; в)  $A=3$  Дж; г)  $A=2$  Дж; д)  $A=1$  Дж.

191. Виток, по которому течет ток  $I=20$  А, свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,016$  Тл. Диаметр  $d$  витка равен 10 см. Определить работу  $A$ , которую нужно совершить, чтобы повернуть виток на угол  $\alpha=\pi/2$  относительно оси, совпадающей с диаметром.

Ответ: а)  $A=2,5 \times 10^{-3}$  Дж; б)  $A=3,5 \times 10^{-3}$  Дж; в)  $A=4,5 \times 10^{-3}$  Дж; г)  $A=5,5 \times 10^{-3}$  Дж; д)  $A=6,5 \times 10^{-3}$  Дж.

192. Плоский контур с током  $I=5$  А свободно установился в однородном магнитном поле ( $B=0,4$  Тл). Площадь контура  $S=200$  см<sup>2</sup>. Поддерживая ток в контуре неизменным, его повернули относительно оси, лежащей в плоскости контура, на угол  $\alpha=40^\circ$ . Определить численное значение работы, совершенной внешними силами.

Ответ: а)  $A=6,4 \times 10^{-3}$  Дж; б)  $A=7,4 \times 10^{-3}$  Дж; в)  $A=8,4 \times 10^{-3}$  Дж; г)  $A=9,4 \times 10^{-3}$  Дж; д)  $A=10,4 \times 10^{-3}$  Дж.

193. Квадратная рамка со стороной  $a=10$  см, по которой течет ток  $I=200$  А, свободно установилась в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,2$  Тл. Определить работу  $A$ , которую необходимо совершить внешним силам при повороте рамки вокруг оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной линиям магнитной индукции, на угол  $\alpha=2\pi/1$ .

Ответ: а)  $A=0,3$  Дж; б)  $A=0,4$  Дж; в)  $A=0,5$  Дж; г)  $A=0,6$  Дж; д)  $A=0,7$  Дж.

194. Виток, в котором поддерживается постоянная сила тока  $I=60$  А, свободно установился в однородном магнитном поле ( $B=20$  мТл). Диаметр витка  $d=10$  см. Какую работу  $A$  нужно совершить внешним силам для того, чтобы повернуть виток относительно оси, совпадающей с диаметром, на угол  $\alpha=\pi/2$ ?

Ответ: а)  $A=1,4 \times 10^{-3}$  Дж; б)  $A=10,4 \times 10^{-3}$  Дж; в)  $A=9,4 \times 10^{-3}$  Дж; г)  $A=8,4 \times 10^{-3}$  Дж; д)  $A=7,4 \times 10^{-3}$  Дж.

195. Плоский контур с током  $I=50$  А расположен в однородном магнитном поле ( $B=0,6$  Тл) так, что нормаль к контуру перпендикулярна линиям магнитной индукции. Площадь контура

$S=1 \text{ м}^2$  Определить работу, совершаемую силами поля при медленном повороте контура около оси, лежащей в плоскости контура, на угол  $\alpha=30^\circ$ .

Ответ: а)  $A=10 \text{ Дж}$ ; б)  $A=15 \text{ Дж}$ ; в)  $A=20 \text{ Дж}$ ; г)  $A=25 \text{ Дж}$ ; д)  $A=30 \text{ Дж}$ .

196. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции расположен плоский контур площадью  $S=100 \text{ см}^2$ . Поддерживая в контуре постоянную силу тока  $I=50 \text{ А}$ , его переместили из поля в область пространства, где поле отсутствует. Определить магнитную индукцию  $B$  поля, если при перемещении контура внешними силами была совершена работа  $A=0,4 \text{ Дж}$ .

Ответ: а)  $B=0,9 \text{ Тл}$ ; б)  $B=0,8 \text{ Тл}$ ; в)  $B=0,7 \text{ Тл}$ ; г)  $B=0,6 \text{ Тл}$ ; д)  $B=0,5 \text{ Тл}$ .

197. По проводу согнутому в виде квадрата со стороной длиной  $a=10 \text{ см}$ , течет ток  $I=20 \text{ А}$ , сила которого поддерживается неизменной. Плоскость квадрата составляет угол  $\alpha=20^\circ$  с линиями индукции однородного магнитного поля ( $B=0,1 \text{ Тл}$ ). Вычислить работу  $A$ , которую необходимо совершить внешним силам для того, чтобы удалить провод за пределы поля.

Ответ: а)  $A=6,84 \text{ мДж}$ ; б)  $A=8,84 \text{ мДж}$ ; в)  $A=10,84 \text{ мДж}$ ; г)  $A=12,84 \text{ мДж}$ ; д)  $A=14,84 \text{ мДж}$ .

198. По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной длиной  $a=10 \text{ см}$ , течет ток  $I=20 \text{ А}$ , сила которого поддерживается неизменной. Плоскость квадрата составляет угол  $\alpha=20^\circ$  с линиями индукции однородного магнитного поля ( $B=0,1 \text{ Тл}$ ). Вычислить работу  $A$ , которую необходимо совершить внешним силам для того, чтобы удалить провод за пределы поля.

Ответ: а)  $A=7,8 \times 10^{-3} \text{ Дж}$ ; б)  $A=6,8 \times 10^{-3} \text{ Дж}$ ; в)  $A=5,8 \times 10^{-3} \text{ Дж}$ ; г)  $A=4,8 \times 10^{-3} \text{ Дж}$ ; д)  $A=3,8 \times 10^{-3} \text{ Дж}$ .

199. Квадратный контур со стороной  $a=10 \text{ см}$ , в котором течет ток  $I=6 \text{ А}$ , находится в магнитном поле ( $B=0,8 \text{ Тл}$ ) под углом  $\alpha=60^\circ$  к линиям индукции. Какую работу  $A$  нужно совершить (внешним силам), чтобы при неизменной силе тока в контуре изменить его форму на окружность?

Ответ: а)  $A=-2,5 \times 10^{-3} \text{ Дж}$ ; б)  $A=-3,5 \times 10^{-3} \text{ Дж}$ ; в)  $A=-4,5 \times 10^{-3} \text{ Дж}$ ; г)  $A=-5,5 \times 10^{-3} \text{ Дж}$ ; д)  $A=-6,5 \times 10^{-3} \text{ Дж}$ .

200. Соленоид с сердечником из немагнитного материала содержит  $N=1200$  витков провода, плотно прилегающих друг к

другу. При силе тока  $I=4$  А магнитный поток  $\Phi=6$  мкВб. Определить энергию магнитного поля соленоида.

Ответ: а)  $W=3,44 \times 10^{-2}$  Дж; б)  $W=2,44 \times 10^{-2}$  Дж; в)  $W=1,44 \times 10^{-2}$  Дж; г)  $W=0,144 \times 10^{-2}$  Дж; д)  $W=0,44 \times 10^{-2}$  Дж.

201. На железное кольцо намотано в один слой  $N=200$  витков. Определить энергию  $W$  магнитного поля, если при силе тока  $I=2,5$  А магнитный поток  $\Phi$  в железе равен 0,5 мВб.

Ответ: а)  $W=125 \times 10^{-3}$  Дж ; б)  $W=225 \times 10^{-3}$  Дж; в)  $W=155 \times 10^{-3}$  Дж; г)  $W=255 \times 10^{-3}$  Дж; д)  $W=325 \times 10^{-3}$  Дж.

202. Индуктивность  $L$  соленоида при длине  $l=1$  м и площади поперечного сечения  $S=20$  см<sup>2</sup> равна 0,4 мГн. Определить силу тока  $I$  в соленоиде, при которой объемная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида равна 0,1 Дж/м<sup>3</sup>.

Ответ: а)  $I=5$  А; б)  $I=4$  А; в)  $I=3$  А; г)  $I=2$  А; д)  $I=1$  А.

#### Практическое занятие №4

*Электромагнитные колебания и волны.*

203. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C=5$  мкФ и катушки с индуктивностью  $L=0,200$  Гн. Определить максимальную силу тока  $I_0$  в контуре, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора  $U_0=90$  В. Активным сопротивлением контура  $R$  пренебречь.

Ответ: а)  $I_0=0,35$  А; б)  $I_0=0,55$  А; в)  $I_0=0,45$  А; г)  $I_0=0,65$  А; д)  $I_0=0,25$  А.

204. В цепи, состоящей из последовательно соединенных резистора, катушки индуктивности и конденсатора, действует синусоидальная ЭДС. Определить частоту ЭДС  $\omega$ , при которой в цепи наступит резонанс, если  $C=0,1$  мкФ,  $L=1,0$  мГн.

Ответ: а)  $\omega_{\text{рез}}=3,0 \times 10^5$  рад/с; б)  $\omega_{\text{рез}}=4,0 \times 10^5$  рад/с; в)  $\omega_{\text{рез}}=2,0 \times 10^5$  рад/с; г)  $\omega_{\text{рез}}=5,0 \times 10^5$  рад/с; д)  $\omega_{\text{рез}}=1,0 \times 10^5$  рад/с.

205. Определить длину  $l$  электромагнитной волны в вакууме, на которую настроен колебательный контур, если максимальный заряд на обкладках конденсатора  $q_m=50$  нКл, а максимальная сила тока в контуре  $I_m=1,5$  А. Активным сопротивлением  $R$  контура пренебречь.

Ответ: а)  $l=62,8$  м; б)  $l=82,8$  м; в)  $l=22,8$  м; г)  $l=52,8$  м; д)  $l=32,8$  м.

206. Плоская монохроматическая электромагнитная волна распространяется вдоль оси  $x$ . Амплитуда напряженности электрического поля волны  $E_0=5$  мВ/м, амплитуда напряженности магнитного поля волны  $H_0=1$  мА/м. Определить энергию  $W$ , перенесенную волной за время  $t=10$  мин через площадку, расположенную перпендикулярно оси  $x$ , площадью поверхности  $S=15$  см<sup>2</sup>. Период волны  $T \ll t$ .

Ответ: а)  $W=0,45 \times 10^{-6}$  Дж; б)  $W=45 \times 10^{-6}$  Дж; в)  $W=2,5 \times 10^{-3}$  Дж; г)  $W=0,25 \times 10^{-3}$  Дж; д)  $W=4,5 \times 10^{-6}$  Дж.

207. Определить энергию, которую, которую переносит за время  $t=1$  мин плоская синусоидальная электромагнитная волна, распространяющаяся в вакууме, через площадку  $S=10$  см<sup>2</sup>, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны. Амплитуда напряженности электрического поля волны  $E_0=1$  мВ/м. Период волны  $T \ll t$ .  $\epsilon_0=8,85 \times 10^{-12}$  Ф/м;  $m_0=12,56 \times 10^{-7}$  Гн/м.

Ответ: а)  $W=4,1 \times 10^{-12}$  Дж; б)  $W=91 \times 10^{-12}$  Дж; в)  $W=710 \times 10^{-12}$  Дж; г)  $W=81 \times 10^{-12}$  Дж; д)  $W=31 \times 10^{-12}$  Дж.

208. В вакууме вдоль оси  $x$  распространяется плоская электромагнитная волна и падает перпендикулярно на поверхность тела, полностью ее поглощающего. Амплитуда напряженности магнитного поля волны  $H_0=0,15$  А/м. Определить давление  $p$ , оказываемое волной на это тело.

Ответ: а)  $p=0,54 \times 10^{-7}$  Па; б)  $p=0,44 \times 10^{-7}$  Па; в)  $p=0,34 \times 10^{-7}$  Па; г)  $p=0,24 \times 10^{-7}$  Па; д)  $p=0,14 \times 10^{-7}$  Па.

## ОПТИКА. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА. АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКАОПТИКА

### Практическое занятие № 1,2

*Волновая теория света. Интерференция, дифракция и поляризация света*

1. Сколько длин волн монохроматического света с частотой колебаний  $\nu=5 \cdot 10^{14}$  Гц уложится на пути длиной  $l=1,2$  мм: 1) в вакууме; 2) в стекле?

*Ответ:  $2 \cdot 10^3$ ;  $3 \cdot 10^3$*

2. Определить длину  $l_1$  отрезка, на котором укладывается столько же длин волн в вакууме, сколько их укладывается на отрезке  $l_2=3$  мм в воде.

*Ответ: 4 мм*

3. Какой длины  $l_1$  путь пройдет фронт волны монохроматического света в вакууме за то же время, за какое он проходит путь длиной  $l_2=1$  м в воде?

*Ответ: 1,33 мм.*

4. На пути световой волны, идущей в воздухе, поставили стеклянную пластинку толщиной  $h=1$  мм. На сколько изменится оптическая длина пути, если волна падает на пластинку: 1) нормально; 2) под углом  $\epsilon=30^\circ$ ?

*Ответ: Увеличится; 1) на 0,50 мм; 2) на 0,548 мм.*

5. На пути монохроматического света с длиной волны  $\lambda=0,6$  мкм находится плоскопараллельная стеклянная пластина толщиной  $d=0,1$  мм. Свет падает на пластину нормально. На какой угол  $\phi$  следует повернуть пластину, чтобы оптическая длина пути  $L$  изменилась на  $\lambda/2$ ?

*Ответ:  $1,72^\circ$*

6. Оптическая разность хода  $\Delta$  двух интерферирующих волн монохроматического света равна  $0,3\lambda$ . Определить разность фаз  $\Delta\phi$ .

*Ответ:  $0,6\pi$ .*

7. Найти все длины волн видимого света (от 0,76 до 0,38 мкм), которые будут: 1) максимально усилены; 2) максимально ослаблены при оптической разности хода  $\Delta$  интерферирующих волн, равной 1,8 мкм.

*Ответ:* 1) 0,6 и 0,45 мкм; 2) 0,72; 0,51 и 0,4 мкм.

8. Расстояние  $d$  между двумя когерентными источниками света ( $\lambda=0,5$  мкм) равно 0,1 мм. Расстояние  $b$  между интерференционными полосами на экране в средней части интерференционной картины равно 1 см. Определить расстояние  $l$  от источников до экрана.

*Ответ:* 2 м.

9. Расстояние  $d$  между двумя щелями в опыте Юнга равно 1 мм, расстояние  $l$  от щелей до экрана равно 3 м. Определить длину волны  $\lambda$ , испускаемой источником монохроматического света, если ширина  $b$  полос интерференции на экране равна 1,5 мм.

*Ответ:* 500 нм.

10. В опыте Юнга расстояние  $d$  между щелями равно 0,8 мм. На каком расстоянии  $l$  от щелей следует расположить экран, чтобы ширина  $b$  интерференционной полосы оказалась равной 2 мм?

*Ответ:*  $l=db/\lambda=2,5$  м.

11. В опыте с зеркалами Френеля расстояние  $d$  между мнимыми изображениями источника света равно 0,5 мм, расстояние  $l$  от них до экрана равно 3 м. Длина волны  $\lambda=0,6$  мкм. Определить ширину  $b$  полос интерференции на экране.

*Ответ:* 3,6 мм

12. При некотором расположении зеркала Ллойда ширина  $b$  интерференционной полосы на экране оказалась равной 1 мм. После того как зеркало сместили параллельно самому себе на расстояние  $\Delta d=0,3$  мм, ширина интерференционной полосы изменилась. В каком направлении и на какое расстояние  $\Delta l$  следует переместить экран, чтобы ширина интерференционной полосы осталась прежней? Длина волны  $\lambda$  монохроматического света равна 0,6 мкм.

*Ответ:* 1) 4,8 мкм; 2) 4,8 мкм; 3) 5,1 мкм; 4) 5,1 мкм; в первых двух случаях усиление, в последних двух – ослабление.

13. На мыльную пленку ( $n=1,3$ ), находящуюся в воздухе, падает нормально пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине  $d$  пленки отраженный свет с длиной волны  $\lambda=0,55$  мкм окажется максимально усиленным в результате интерференции?

*Ответ:* 0,1 мкм.

14. Пучок монохроматических ( $\lambda=0,6$  мкм) световых волн падает под углом  $\varepsilon_1=30^\circ$  на находящуюся в воздухе мыльную пленку ( $n=1,3$ ). При какой наименьшей толщине  $d$  пленки отраженные

световые волны будут максимально ослаблены интерференцией? максимально усилены?

*Ответ: 0,25 мкм; 0,125 мкм.*

15. На тонкий стеклянный клин ( $n=1,55$ ) падает нормально монохроматический свет. Двугранный угол  $\alpha$  между поверхностями клина равен  $2'$ . Определить длину световой волны  $\lambda$ , если расстояние  $b$  между смежными интерференционными максимумами в отраженном свете равно  $0,3$  мм.

*Ответ: 541 мкм.*

16. Поверхности стеклянного клина образуют между собой угол  $\theta=0,2'$ . На клин нормально к его поверхности падает пучок лучей монохроматического света с длиной волны  $\lambda=0,55$  мкм. Определить ширину  $b$  интерференционной полосы.

*Ответ:  $b=\lambda/(2n\theta)=3,15$  мм.*

17. На тонкий стеклянный клин в направлении нормали к его поверхности падает монохроматический свет ( $\lambda=600$  нм). Определить угол  $\theta$  между поверхностями клина, если расстояние  $b$  между смежными интерференционными минимумами в отраженном свете равно  $4$  мм.

*Ответ: 10,3".*

18. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками положили очень тонкую проволочку, расположенную параллельно линии соприкосновения пластинок и находящуюся на расстоянии  $l=75$  мм от нее. В отраженном свете ( $\lambda=0,5$  мкм) на верхней пластинке видны интерференционные полосы. Определить диаметр  $d$  поперечного сечения проволочки, если на протяжении  $a=30$  мм насчитывается  $m=16$  светлых полос.

*Ответ: 10 мкм.*

19. Две плоскопараллельные стеклянные пластинки приложены одна к другой так, что между ними образовался воздушный клин с углом  $\theta$ , равным  $30''$ . На одну из пластинок падает нормально монохроматический свет ( $\lambda=0,6$  мкм). На каких расстояниях  $l_1$  и  $l_2$  от линии соприкосновения пластинок будут наблюдаться в отраженном свете первая и вторая светлые полосы (интерференционные максимумы)?

*Ответ: 3,1 мм; 5,2 мм.*

20. Две плоскопараллельные стеклянные пластинки образуют клин с углом  $\theta=30'$ . Пространство между пластинками заполнено глицерином. На клин нормально к его поверхности падает пучок

монохроматического света с длиной волны  $\lambda=500$  нм. В отраженном свете наблюдается интерференционная картина. Какое число  $N$  темных интерференционных полос приходится на 1 см длины клина?

*Ответ:*  $N=2n\theta/\lambda=8,55 \text{ см}^{-1}$

21. Расстояние  $\Delta r_{2,1}$  между вторым и первым темным кольцами Ньютона в отраженном свете равно 1 мм. Определить расстояние  $\Delta r_{10,9}$  между десятым и девятым кольцами.

*Ответ:* 0,39 мм.

22. Плосковыпуклая линза выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Определить толщину  $d$  слоя воздуха там, где в отраженном свете ( $\lambda=0,6$  мкм) видно первое светлое кольцо Ньютона.

*Ответ:* 0,15 мкм.

23. Диаметр  $d_2$  второго светлого кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете ( $\lambda=0,6$  мкм) равен 1,2 мм. Определить оптическую силу  $D$  плосковыпуклой линзы, взятой для опыта.

*Ответ:* 1,25 дптр.

24. Плосковыпуклая линза с оптической силой  $\Phi=2$  дптр выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Радиус  $r$ , четвертого темного кольца Ньютона в проходящем свете равен 0,7 мм. Определить длину световой волны.

*Ответ:* 490 нм.

25. Диаметры  $d_i$  и  $d_k$  двух светлых колец Ньютона соответственно равны 4,0 и 4,8 мм. Порядковые номера колец не определялись, но известно, что между двумя измеренными кольцами расположено три светлых кольца. Кольца наблюдались в отраженном свете ( $\lambda=500$  нм). Найти радиус кривизны плосковыпуклой линзы, взятой для опыта.

*Ответ:* 880 мм.

26. Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой стеклянной линзой налита жидкость, показатель преломления которой меньше показателя преломления стекла. Радиус  $r_8$  восьмого темного кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете ( $\lambda=700$  нм) равен 2 мм. Радиус  $R$  кривизны выпуклой поверхности линзы равен 1 м. Найти показатель преломления  $n$  жидкости.

*Ответ:* 1,4.

27. На установке для наблюдения колец Ньютона был измерен в отраженном свете радиус третьего темного кольца ( $k=3$ ).



Когда пространство между плоскопараллельной пластиной и линзой заполнили жидкостью, то тот же радиус стало иметь кольцо с номером, на единицу большим. Определить показатель преломления  $n$  жидкости.

*Ответ:*  $n = (k+1)k = 1,33$ .

28. В установке для наблюдения колец Ньютона свет с длиной волны  $\lambda = 0,5$  мкм падает нормально на плосковыпуклую линзу с радиусом кривизны  $R_1 = 1$  м, положенную выпуклой стороной на вогнутую поверхность плосковогнутой линзы с радиусом кривизны  $R_2 = 2$  м. Определить радиус  $r_3$  третьего темного кольца Ньютона, наблюдаемого в отраженном свете.

*Ответ:* 1,73 мм.

29. Кольца Ньютона наблюдаются с помощью двух одинаковых плосковыпуклых линз радиусом  $R$  кривизны равным 1 м, сложенных вплотную выпуклыми поверхностями (плоские поверхности линз параллельны). Определить радиус  $r_2$  второго светлого кольца, наблюдаемого в отраженном свете ( $\lambda = 660$  нм) при нормальном падении света на поверхность верхней линзы.

*Ответ:* 0,704 мм.

### *Дифракция света*

30. Расстояние  $d$  между двумя щелями в опыте Юнга равно 1 мм, расстояние  $L$  от щелей до экрана равно 3 м. Определить длину волны  $\lambda$ , испускаемой источником монохроматического света, если ширина  $b$  полос интерференции на экране равна 1,5 мм.

*Ответ:* а)  $\lambda = 1$  мкм; б)  $\lambda = 0,5$  мкм; в)  $\lambda = 0,75$  мкм; г)  $\lambda = 2$  мкм; д)  $\lambda = 0,35$  мкм.

31. Вычислить радиус  $r_5$  пятой зоны Френеля для плоского волнового фронта ( $\lambda = 0,5$  мкм), если точка наблюдения находится на расстоянии  $b = 1$  м от фронта волны.

*Ответ:* а)  $r = 1,58$  мм; б)  $r = 1,90$  мм; в)  $r = 1,10$  мм; г)  $r = 1,37$  мм; д)  $r = 1,81$  мм.

32. Свет с длиной волны 535 нм падает нормально на дифракционную решётку. Найти её период, если одному из фраунгоферовых максимумов соответствует угол дифракции  $35^\circ$  и наибольший порядок спектра равен пяти.

*Ответ:* а)  $d = 3,00$  мкм; б)  $d = 4,00$  мкм; в)  $d = 2,67$  мкм; г)  $d = 1,35$  мкм; д)  $d = 1,47$  мкм.

33. На щель, шириной  $a = 0,05$  мм, падает нормально

монохроматический свет ( $\lambda = 0,6$  мкм). Определить угол  $\beta$  между первоначальным направлением пучка света и направлением на четвертую темную дифракционную полосу.

*Ответ:* а)  $\varphi = 2,75^\circ$ ; б)  $\varphi = 3,00^\circ$ ; в)  $\varphi = 3,70^\circ$ ; г)  $\varphi = 4,00^\circ$ ; д)  $\varphi = 1,75^\circ$ .

34. На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Угол отклонения пучков света, соответствующих второй светлой дифракционной полосе, равен  $1^\circ$ . Скольким длинам волн падающего света равна ширина щели?

*Ответ:* а)  $n = 150$ ; б)  $n = 130$ ; в)  $n = 143$ ; г)  $n = 160$ ; д)  $n = 13$

35. На дифракционную решетку, содержащую  $n = 500$  штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет с длиной волны, равной 700 нм. За решеткой помещена собирающая линза с главным фокусным расстоянием  $F = 50$  см. В фокальной плоскости линзы расположен экран. Определить линейную дисперсию  $D_1$  такой системы для максимума третьего порядка. Ответ выразить в миллиметрах на нанометр.

*Ответ:* а)  $\varphi = 39^\circ$ ; б)  $\varphi = 43^\circ$ ; в)  $\varphi = 3,70^\circ$ ; г)  $\varphi = 40^\circ$ ; д)  $\varphi = 17,5^\circ$ .

36. На дифракционную решетку нормально к поверхности падает монохроматический свет ( $\lambda = 650$  нм). За решеткой находится линза, в фокальной плоскости которой расположен экран. На экране наблюдается дифракционная картина под углом дифракции  $\beta = 30^\circ$ . При каком главном фокусном расстоянии  $F$  линзы линейная дисперсия  $D_1 = 0,5$  мм/нм.

*Ответ:* а)  $F = 500$  мм; б)  $F = 600$  мм; в)  $F = 563$  мм; г)  $F = 590$  мм; д)  $F = 585$  мм.

#### *Поляризация света.*

37. Пучок света, идущий в воздухе, падает на поверхность жидкости под углом  $\beta = 54^\circ$ . Определить угол преломления  $\gamma$  пучка, если отраженный пучок полностью поляризован.

*Ответ:* а)  $\varphi = 39^\circ$ ; б)  $\varphi = 43^\circ$ ; в)  $\varphi = 36^\circ$ ; г)  $\varphi = 40^\circ$ ; д)  $\varphi = 17,5^\circ$ .

38. Пучок естественного света падает на систему из  $N = 6$  николей, плоскость пропускания каждого из которых повернута на угол  $\beta = 30^\circ$  относительно плоскости пропускания предыдущего николя. Какая часть светового потока проходит через эту систему?

*Ответ:* а)  $k = 0,15$ ; б)  $k = 0,20$ ; в)  $k = 0,12$ ; г)  $k = 0,18$ ; д)  $k = 0,25$ .

39. На какой угловой высоте  $\beta$  над горизонтом должно находиться Солнце, чтобы солнечный свет, отраженный от

поверхности воды, был полностью поляризован?

*Ответ:* а)  $\varphi=39^0$ ; б)  $\varphi=43^0$ ; в)  $\varphi=37^0$ ; г)  $\varphi=40^0$ ; д)  $\varphi=17,5^0$ .

40. Пучок естественного света, идущий в воде, отражается от грани алмазной призмы, погруженной в воду. При каком угле падения  $\alpha$  отраженный свет будет полностью поляризован?

*Ответ:* а)  $\alpha=61^012'$ ; б)  $\alpha=45^0$ ; в)  $\alpha=30^0$ ; г)  $\alpha=54^0$ ; д)  $\alpha=70^0$

41. Угол Брюстера  $i_b$  при падении света из воздуха на кристалл каменной соли равен  $57^0$ . Определить скорость света в этом кристалле.

*Ответ:* а)  $v=2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ; б)  $v=1,94 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ; в)  $v=3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ; г)  $v=10^8 \text{ м/с}$ ; д)  $v=1,5 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

42. Анализатор в  $k=2$  раза уменьшает интенсивность света, приходящего к нему от поляризатора. Определить угол  $\alpha$  между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора. Потерями интенсивности света в анализаторе пренебречь.

*Ответ:* а)  $\alpha=15^010'$ ; б)  $\alpha=45^0$ ; в)  $\alpha=30^0$ ; г)  $\alpha=54^0$ ; д)  $\alpha=40^0$

43. Угол  $\alpha$  между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора равен  $45^0$ . Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до  $60^0$ ?

*Ответ:* а) 1,5; б) 3; в) 2; г) 2,5; д) 3,5

44. Во сколько раз ослабляется интенсивность света, проходящего через два николя, плоскости пропускания которых образуют угол  $\alpha=30^0$ , если в каждом из николей в отдельности теряется 10% интенсивности падающего на него света?

*Ответ:* а) 2; б) 2,4; в) 1,5; г) 2,5; д) 3,3

45. В фотометре одновременно рассматривают две половины поля зрения: в одной видна эталонная светящаяся поверхность с яркостью  $L_1=5 \text{ ккд/м}^2$ , в другой - испытываемая поверхность, свет от которой проходит через два николя. Граница между обеими половинами поля зрения исчезает, если второй николь повернуть относительно первого на угол  $j=45^0$ . Найти яркость  $L_2$  испытываемой поверхности, если известно, что в каждом из николей интенсивность падающего на него света уменьшается на 8 %.

*Ответ:* а)  $L_2=23,6 \text{ ккд/м}^2$ ; б)  $L_2=20 \text{ ккд/м}^2$ ; в)  $L_2=15,5 \text{ ккд/м}^2$ ; г)  $L_2=28 \text{ ккд/м}^2$ ; д)  $L_2=18,6 \text{ ккд/м}^2$

### Практическое занятие № 3

*Законы теплового излучения.*

46. Определить температуру  $T$ , при которой энергетическая светимость  $M_e$  черного тела равна  $10 \text{ кВт/м}^2$ .

*Ответ: 648 К*

47. Поток энергии  $\Phi_e$ , излучаемый из смотрового окошка плавильной печи, равен  $34 \text{ Вт}$ . Определить температуру  $T$  печи, если площадь отверстия  $S = 6 \text{ см}^2$ .

*Ответ: 1 кК.*

48. Определить энергию  $W$  излучаемую за время  $t = 1 \text{ мин}$  из смотрового окошка площадью  $S = 8 \text{ см}^2$  плавильной печи, если ее температура  $T = 1,2 \text{ кК}$ .

*Ответ: 5,65 кДж.*

49. Температура  $T$  верхних слоев звезды Сириус равна  $10 \text{ кК}$ , Определить поток энергии  $\Phi_e$ , излучаемый с поверхности площадью  $S = 1 \text{ км}^2$  этой звезды.

*Ответ: 56,7 ГВт.*

50. Определить относительное увеличение  $\Delta M_e / M_e$  энергетической светимости черного тела при увеличении его температуры на  $1\%$ .

*Ответ: 4%.*

51. Во сколько раз надо увеличить термодинамическую температуру черного тела, чтобы его энергетическая светимость  $M_e$  возросла в два раза?

*Ответ: В 1,19 раза.*

52. Принимая, что Солнце излучает как черное тело, вычислить его энергетическую светимость  $M_e$  и температуру  $T$  его поверхности. Солнечный диск виден с Земли под углом  $\theta = 32'$ . Солнечная постоянная  $C = 1,4 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{с)}$ .

\* Солнечной постоянной называется величина, равная поверхностной плотности потока энергии излучения Солнца вне земной атмосферы на среднем расстоянии от Земли до Солнца.

*Ответ: 64,7 МВт/м<sup>2</sup>; 5,8 кК.*

53. Определить установившуюся температуру  $T$  зачерненной металлической пластинки, расположенной перпендикулярно солнечным лучам вне земной атмосферы на среднем расстоянии от Земли до Солнца. Значение солнечной постоянной приведено в

предыдущей задаче.

*Ответ: 396 К.*

54. Принимая коэффициент теплового излучения в угля при температуре  $T=600$  К равным  $0,8$ , определить: 1) энергетическую светимость  $M_e$  угля; 2) энергию  $W$ , излучаемую с поверхности угля с площадью  $S = 5 \text{ см}^2$  за время  $t=10$  мин.

*Ответ:  $R_e = a_T \sigma T^4 = 5,88 \text{ кВт/м}^2$ ;  $W = R_e S = 1,76 \text{ кДж}$ .*

55. С поверхности сажи площадью  $S = 2 \text{ см}^2$  при температуре  $T=400$  К за время  $t=5$  мин излучается энергия  $W=83$  Дж. Определить коэффициент теплового излучения  $\epsilon$  сажи.

*Ответ: 0,953.*

56. Муфельная печь потребляет мощность  $P=1$  кВт. Температура  $T$  ее внутренней поверхности при открытом отверстии площадью  $S=25 \text{ см}^2$  равна  $1,2$  кК. Считая, что отверстие печи излучает как черное тело, определить, какая часть  $W$  мощности рассеивается стенками.

*Ответ:  $\eta = 1 - \sigma T^4 S/p = 0,71$ .*

57. Можно условно принять, что Земля излучает как серое тело, находящееся при температуре  $T=280$  К. Определить коэффициент теплового излучения  $\epsilon$  Земли, если энергетическая светимость  $M_e$  ее поверхности равна  $325 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{ч)}$ .

*Ответ: 0,26.*

58. Мощность  $P$  излучения шара радиусом  $R=10$  см при некоторой постоянной температуре  $T$  равна  $1$  кВт. Найти эту температуру, считая шар серым телом с коэффициентом теплового излучения  $\epsilon=0,25$ .

*Ответ: 866 К.*

59. На какую длину волны  $\lambda_m$  приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости  $(M_{\lambda,T})_{max}$  черного тела при температуре  $t=0^\circ \text{С}$ ?

*Ответ: 10,6 мкм.*

60. Температура верхних слоев Солнца равна  $5,3$  кК. Считая Солнце черным телом, определить длину волны  $\lambda_m$ , которой соответствует максимальная спектральная плотность энергетической светимости  $(M_{\lambda,T})_{max}$  Солнца.

*Ответ: 547 нм.*

61. Определить температуру  $T$  черного тела, при которой максимум спектральной плотности энергетической светимости

$(M_{\lambda,T})_{max}$  приходится на красную границу видимого спектра ( $\lambda_1 = 750$  нм); на фиолетовую ( $\lambda_2 = 380$  нм).

*Ответ: 3,8 кК*

62. Максимум спектральной плотности энергетической светимости  $(M_{\lambda,T})_{max}$  яркой звезды Арктур приходится на длину волны  $\lambda_m = 580$  нм. Принимая, что звезда излучает как черное тело, определить температуру  $T$  поверхности звезды.

*Ответ: 4,98 кК.*

63. Вследствие изменения температуры черного тела максимум спектральной плотности  $(M_{\lambda,T})_{max}$  сместился с  $\lambda_1 = 2,4$  мкм на  $\lambda_2 = 0,8$  мкм. Как и во сколько раз изменились энергетическая светимость  $M_e$  тела и максимальная спектральная плотность энергетической светимости?

*Ответ: Увеличились в 81 и в 243 раза*

64. При увеличении термодинамической температуры  $T$  черного тела в два раза длина волны  $\lambda_m$  на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости  $(M_{\lambda,T})_{max}$ , уменьшилась на  $\Delta\lambda = 400$  нм. Определить начальную и конечную температуры  $T_1$  и  $T_2$ .

*Ответ: 3,62 кК; 7,24 кК.*

65. Эталон единицы силы света — кандела — представляет собой полный (излучающий волны всех длин) излучатель, поверхность которого площадью  $S = 0,5305$  мм<sup>2</sup> имеет температуру  $t$  затвердевания платины, равную 1063°C. Определить мощность  $P$  излучателя.

*Ответ: 95,8 мВт.*

66. Максимальная спектральная плотность энергетической светимости  $(M_{\lambda,T})_{max}$  черного тела равна  $4,16 \cdot 10^{11}$  (Вт/м<sup>2</sup>)/м. На какую длину волны  $\lambda_m$  она приходится?

*Ответ: 1,45 мкм.*

67. Температура  $T$  черного тела равна 2 кК. Определить: 1) спектральную плотность энергетической светимости  $(M_{\lambda,T})$  для длины волны  $\lambda = 600$  нм; 2) энергетическую светимость  $M_e$  в интервале длин волн от  $\lambda_1 = 590$  нм до  $\lambda_2 = 610$  нм. Принять, что средняя спектральная плотность энергетической светимости тела в этом интервале равна значению, найденному для длины волны  $\lambda = 600$  нм.

*Ответ: 1) 30 МВт/(м<sup>2</sup>·мм); 2) 600 Вт/м<sup>2</sup>*

### Практическое занятие № 4

*Квантовая природа света. Фотоэффект, Эффект Комптона.*

68. Определите, с какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу фотона, длина волны которого  $\lambda = 0,5$  мкм.

*Ответ:*  $v=1,46$  км/с

69. Давление монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 500$  нм на зачерненную поверхность, расположенную перпендикулярно падающим лучам, равно  $0,12$  мкПа. Определите число фотонов, падающих ежесекундно на  $1$  м<sup>2</sup> поверхности.

*Ответ:*  $N = 9,05 \cdot 10^{19}$

70. На идеально отражающую поверхность площадью  $S = 5$  см<sup>2</sup> за время  $t = 3$  мин нормально падает монохроматический свет, энергия которого  $W = 9$  Дж. Определите: 1) облученность поверхности; 2) световое давление, оказываемое на поверхность.

*Ответ:* 1)  $E_e = 100$  Вт/м<sup>2</sup>, 2)  $p = 667$  нПа

71. Определите давление света на стенки электрической 150-ваттной лампочки, принимая, что вся потребляемая мощность идет на излучение и стенки лампочки отражают 15% падающего на них света. Считайте лампочку сферическим сосудом радиуса 4 см.

*Ответ:*  $p = 28,6$  мкПа

72. На идеально отражающую плоскую поверхность нормально падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,55$  мкм. Поток излучения  $\Phi_e$  составляет  $0,45$  Вт. Определите силу давления, испытываемую этой поверхностью.

*Ответ:*  $F = 3$  нН

73. Калий освещается монохроматическим светом с длиной волны  $400$  нм. Определите наименьшее задерживающее напряжение, при котором фототок прекратится. Работа выхода электронов из калия равна  $2,2$  эВ.

*Ответ:*  $U_0 = 0,91$  В

74. Какая доля энергии фотона израсходована на работу вырывания фотоэлектрона, если красная граница фотоэффекта  $\lambda_0 = 307$  нм и максимальная кинетическая энергия  $T_{\max}$  фотоэлектрона равна  $1$  эВ?

*Ответ:*  $n=0,80$

75. Плоский серебряный электрод освещается монохроматическим излучением с длиной волны  $\lambda = 83$  нм.

Определите, на какое максимальное расстояние от поверхности электрода может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода имеется задерживающее электрическое поле напряженностью  $E = 10 \text{ В/см}$ . Красная граница фотоэффекта для серебра  $\lambda_0 = 264 \text{ нм}$ .

*Ответ:*  $s = 1,03 \text{ см}$

76. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна  $500 \text{ нм}$ . Определите максимальную скорость электронов, вырываемых из этого металла светом с длиной волны  $400 \text{ нм}$ .

*Ответ:*  $v_{\text{max}} = 468 \text{ км/с}$

77. Фотон с энергией  $1,00 \text{ МэВ}$  рассеялся на покоящемся свободном электроне. Найти кинетическую энергию электрона отдачи, если в результате рассеяния длина волны фотона изменилась на  $25\%$ .

*Ответ:*  $T = 0,2 \text{ МэВ}$ .

78. Какая доля энергии фотона при эффекте Комптона приходится на электрон отдачи, если фотон претерпел рассеяние на угол  $\theta = 180^\circ$ ? Энергия  $E$  фотона до рассеяния равна  $0,255 \text{ МэВ}$ .

*Ответ:*  $\eta = 50\%$ .

79. Угол рассеяния  $\theta$  фотона равен  $90^\circ$ . Угол отдачи  $\phi$  электрона равен  $30^\circ$ . Определить энергию  $E$  падающего фотона.

*Ответ:*  $E = 0,37 \text{ МэВ}$ .

### Практическое занятие № 5

*Гипотеза де Бройля. Соотношения неопределенностей.*

80. Групповая скорость волны Де Бройля . . .

*Ответ:* 1) равна скорости частицы; 2) зависит от квадрата длины волны; 3) не имеет смысла как физическая величина; 4) равна скорости света в вакууме; 5) больше скорости света в вакууме.

81. Кинетическая энергия классической частицы увеличилась в 2 раза. Длина волны Де Бройля этой частицы . . .

*Ответ:* 1) уменьшилась в  $\sqrt{2}$  раз; 2) увеличилась в 2 раза; 3) не изменилась; 4) увеличилась в  $\sqrt{2}$  раз; 5) уменьшилась в 2 раза.

82. Если частицы имеют одинаковую длину волны Де Бройля, то наибольшей скоростью обладает . . .



*Ответ:* 1) позитрон; 2) нейтрон; 3) протон; 4)  $\alpha$ -частица.

83. Если частицы движутся с одинаковой скоростью то наименьшей длиной волны Де Бройля обладает . . .

*Ответ:* 1)  $\alpha$ -частица; 2) нейтрон; 3) позитрон; 4) протон.

84. Если частицы имеют одинаковую скорость, то наибольшей длиной волны Де Бройля обладает:

*Ответ:* 1) электрон; 2) нейтрон; 3) протон; 4)  $\alpha$ -частица.

85. Высокая монохроматичность лазерного излучения обусловлена относительно большим временем жизни электронов в метастабильном состоянии  $\sim 10^{-3}$  с. Учитывая, что постоянная Планка  $\hbar = 6,6 \cdot 10^{-16}$  эВ·с, ширина метастабильного уровня (в эВ) будет не менее...

*Ответ:* 1)  $6,6 \cdot 10^{-13}$ ; 2)  $1,5 \cdot 10^{-13}$ ; 3)  $1,5 \cdot 10^{-19}$ ; 4)  $6,6 \cdot 10^{-19}$

86. Время жизни атома в возбуждённом состоянии 10 нс. Учитывая, что постоянная Планка  $\hbar = 6,6 \cdot 10^{-16}$  эВ·с, ширина энергетического уровня (в эВ) составляет не менее ...

*Ответ:* 1)  $6,6 \cdot 10^{-8}$ ; 2)  $1,5 \cdot 10^{-8}$ ; 3)  $1,5 \cdot 10^{-10}$ ; 4)  $6,6 \cdot 10^{-10}$ .

87. Отношение скоростей протона и  $\alpha$ -частицы, длины волн де Бройля которых одинаковы, равно ...

*Ответ:* 1) 4 2) 2 3)  $\frac{1}{2}$  4)  $\frac{1}{4}$

88. Отношение неопределенностей проекций скоростей нейтрона и  $\alpha$ -частицы на некоторое направление при условии, что соответствующие координаты частиц определены с одинаковой точностью, равно ...

*Ответ:* 1) 4 2) 2 3)  $\frac{1}{2}$  4)  $\frac{1}{4}$

89. Если протон и дейтрон прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов, то отношение их длин волн де Бройля равно

*Ответ:* 1)  $\sqrt{2}$  2) 1 3) 2 4)  $1/\sqrt{2}$

90. Высокая монохроматичность лазерного излучения обусловлена относительно большим временем жизни электронов в метастабильном состоянии, равном  $10^{-3}$  с. Учитывая, что постоянная Планка  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с, ширина метастабильного уровня будет не менее ...

*Ответ:* 1) 0,66 нэВ; 2) 66 нэВ; 3) 1,52 ТэВ; 4) 0,66 нэВ

91. Высокая монохроматичность лазерного излучения обусловлена относительно большим временем жизни электронов в метастабильном состоянии  $\sim 10^{-3}$  с. Учитывая, что постоянная Планка  $\hbar = 6,6 \cdot 10^{-16}$  эВс, ширина метастабильного уровня (в эВ) будет не менее...

*Ответ:* 1)  $6,6 \cdot 10^{-13}$  2)  $1,5 \cdot 10^{-13}$  3)  $1,5 \cdot 10^{-19}$  4)  $6,6 \cdot 10^{-19}$

92. Время жизни атома в возбуждённом состоянии 10 нс. Учитывая, что постоянная Планка  $\hbar = 6,6 \cdot 10^{-16}$  эВс, ширина энергетического уровня (в эВ) составляет не менее ...

*Ответ:* 1)  $6,6 \cdot 10^{-8}$  2)  $1,5 \cdot 10^{-8}$  3)  $1,5 \cdot 10^{-10}$  4)  $6,6 \cdot 10^{-10}$

93. Отношение скоростей двух микрочастиц  $\frac{v_1}{v_2} = 4$ . Если их длины волн де Бройля удовлетворяют соотношению  $\lambda_2 = 2\lambda_1$ , то отношение масс этих частиц  $\frac{m_1}{m_2}$  равно ...

*Ответ:* 1)  $\frac{1}{2}$ ; 2) 2; 3)  $\frac{1}{4}$ ; 4) 4.

94. Если протон и дейтрон прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов, то отношение их длин волн де Бройля равно...

*Ответ:* 1)  $\sqrt{2}$  2) 1 3) 2 4)  $1/\sqrt{2}$

95. Неопределенность в определении местоположения частицы, движущейся вдоль оси  $x$ , равна длине волны де Бройля для этой частицы. Относительная неопределенность ее скорости не меньше \_\_\_ %.

*Ответ:* 1) 16 2) 100 3) 32 4) 8

96. Отношение длин волн де Бройля для протона и  $\alpha$ -частицы, имеющих одинаковую кинетическую энергию, равно...

*Ответ:* 1) 2; 2)  $\frac{1}{2}$ ; 3) 4; 5)  $\frac{1}{4}$ .

97. Ширина следа электрона на фотографии, полученной с использованием камеры Вильсона, составляет 1 мм. Учитывая, что постоянная Планка  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с, а масса электрона  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг неопределенность в определении скорости электрона будет не менее...

Ответ: 1) 0,12 м/с 2) 0,12 мм/с 3)  $1,05 \cdot 10^{-31}$  мм/с 4)  $1,05 \cdot 10^{34}$  мм/с

98. В опыте Дэвиссона и Джермера исследовалась дифракция прошедших ускоряющее напряжение электронов на монокристалле никеля. Если ускоряющее напряжение увеличить в 8 раз, то длина волны де Бройля электрона \_\_\_\_\_ раз(-а).

Ответ: 1) уменьшится в  $2\sqrt{2}$  2) увеличится в 8  
3) уменьшится в 4 4) увеличится в  $4\sqrt{2}$

99. Положение пылинки массой  $m = 10^{-9}$  кг можно установить с неопределенностью  $\Delta x = 0,1$  мкм. Учитывая, что постоянная Планка  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с, неопределенность скорости  $\Delta v_x$  (в м/с) будет не менее...

Ответ: 1)  $1,05 \cdot 10^{-18}$  2)  $1,05 \cdot 10^{-21}$  3)  $1,05 \cdot 10^{-24}$  4)  $1,05 \cdot 10^{-27}$

100. Отношение длин волн де Бройля для молекул водорода и кислорода, соответствующих их наиболее вероятным скоростям при одной и той же температуре, равно...

Ответ: 1) 4 2) 1/2 3) 2 4) 1/4

### Практическое занятие № 6

Стационарное уравнение Шредингера. Частица в потенциальном ящике. Прохождение частиц через потенциальный барьер.

101. Нестационарным уравнением Шредингера является уравнение

Ответ: 1)  $-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta y + U(x, y, z, t)y = i\hbar \frac{\partial y}{\partial t}$ ; 2)

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E y = 0;$$

$$3) \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E - \frac{m \omega_0^2 x^2}{2} \right) y = 0; \quad 4)$$

$$\Delta y + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) y = 0.$$

102. Стационарным уравнением Шредингера для частицы в одномерном ящике с бесконечно высокими стенками является уравнение:

$$\text{Ответ: } 1) \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E y = 0; \quad 2) \Delta y + \frac{2m}{\hbar^2} \frac{\hbar^2 c E}{e} + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \ddot{y} = 0;$$

$$3) \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \frac{\hbar^2 c E}{e} - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} \ddot{y} = 0; \quad 4) \Delta y + \frac{2m}{\hbar^2} E y = 0.$$

103. Электрону, движущемуся в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками, соответствует уравнение ...

$$\text{Ответ: } 1) \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E y = 0; \quad 2) \Delta y + \frac{2m}{\hbar^2} \frac{\hbar^2 c E}{e} + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \ddot{y} = 0;$$

;

$$3) \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \frac{\hbar^2 c E}{e} - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} \ddot{y} = 0; \quad 4) \Delta y + \frac{2m}{\hbar^2} E y = 0.$$

104. Стационарным уравнением Шредингера для электрона в водородоподобном ионе является уравнение ...

$$\text{Ответ: } 1) \Delta y + \frac{2m}{\hbar^2} \frac{\hbar^2 c E}{e} + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \ddot{y} = 0; \quad 2) \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E y = 0;$$

$$3) \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \frac{\hbar^2 c E}{e} - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} \ddot{y} = 0; \quad 4) \Delta y + \frac{2m}{\hbar^2} E y = 0.$$

105. Стационарным уравнением Шредингера для линейного гармонического осциллятора является уравнение...

$$\text{Ответ: } 1) \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \frac{\hbar^2 c E}{e} - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} \ddot{y} = 0;$$

$$2) \Delta y + \frac{2m}{\hbar^2} \frac{\hbar^2 c E}{e} + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \ddot{y} = 0; \quad 3) \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E y = 0;$$

$$4) \Delta y + \frac{2m}{\hbar^2} E y = 0.$$

106. Стационарное уравнение Шредингера в общем случае имеет вид:

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

где  $U$  - потенциальная энергия микрочастицы. Электрону в атоме водорода соответствует уравнение...

*Ответ:* 1)  $\Delta y + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) y = 0$ ; 2)  $\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E y = 0$ ;

3)  $\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} \right) y = 0$ ; 3)  $\Delta y + \frac{2m}{\hbar^2} E y = 0$ .

107. Квадрат модуля волновой функции  $y$ , входящей в уравнение Шредингера, равен ...

*Ответ:* 1) плотности вероятности обнаружения частицы в соответствующем месте пространства; 2) импульсу частицы в соответствующем месте пространства; 3) энергии частицы в соответствующем месте пространства.

108. С помощью волновой функции  $y$ , входящей в уравнение Шредингера, можно определить ...

*Ответ:* 1) вероятность обнаружения частицы в любой точке пространства; 2) импульс частицы в любой точке пространства; 3) траекторию движения частицы.

108. Состояние микрочастицы в данном состоянии описывается волновой функцией, квадрат модуля которой определяет...

*Ответ:* 1) плотность вероятности микрочастицы в данном состоянии; 2) кинетическую энергию микрочастицы в данном состоянии; 3) потенциальную энергию микрочастицы в данном состоянии; 4) вероятность нахождения микрочастицы в данном состоянии.

109. Вероятность  $dP(x)$  обнаружения электрона вблизи точки с координатой  $x$  на участке  $dx$  равна...

*Ответ:* 1)  $dP(x) = |\Psi(x)|^2 dx$ ; 2)  $dP(x) = \Psi(x^2) \cdot dx$ ;  
3)  $dP(x) = \Psi^2(x) \cdot dx$ ; 4)  $dP(x) = \Psi(x) \cdot dx$ .

110. В стационарных состояниях, описываемых волновой функцией

$$\psi(x, t) = \psi(x) \exp\left[-iE \frac{t}{\hbar}\right],$$

плотность вероятности данного состояния...

*Ответ:* 1) не зависит от времени; 2) зависит от времени гармонически; 3) зависит от времени по экспоненте; 4) зависит от времени линейно.

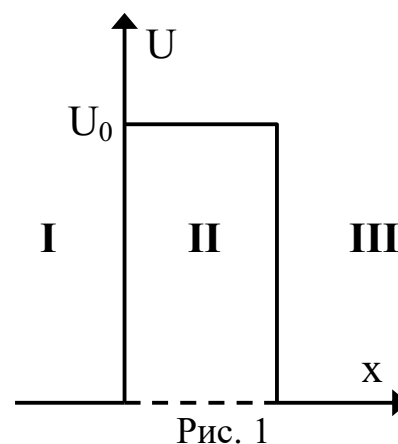
111. Частица массой  $m$  с энергией  $E < U_0$  подлетает к потенциальному барьеру высотой  $U_0$  (Рис. 1). Для области I уравнение Шредингера имеет вид...

*Ответ:* 1)  $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E\psi = 0;$

2)  $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U_0)\psi = 0;$

3)  $D\psi + \frac{2m}{\hbar^2} E\psi = 0;$

4)  $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (U_0 - E)\psi = 0.$



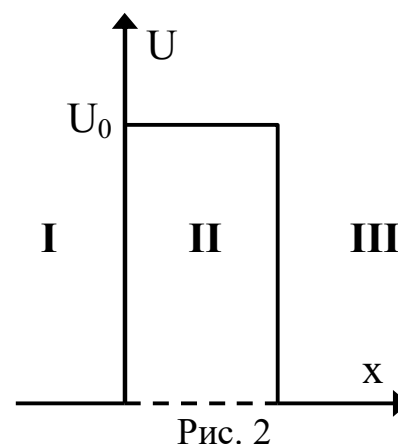
112. Частица массой  $m$  с энергией  $E < U_0$  подлетает к потенциальному барьеру высотой  $U_0$  (Рис. 2). Для области II уравнение Шредингера имеет вид...

*Ответ:* 1)  $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U_0)\psi = 0;$

2)  $D\psi + \frac{2m}{\hbar^2} E\psi = 0;$

3)  $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E\psi = 0;$

4)  $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (U_0 - E)\psi = 0.$



113. На рисунке приведены картины распределения плотности вероятности нахождения микрочастицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками (Рис. 3). Состоянию с квантовым числом  $n = 2$  соответствует график ...

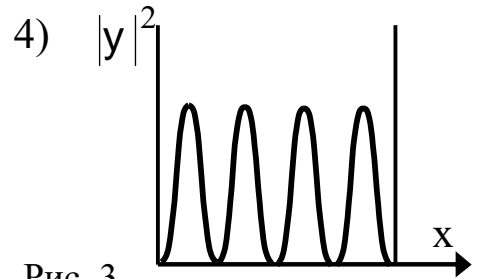
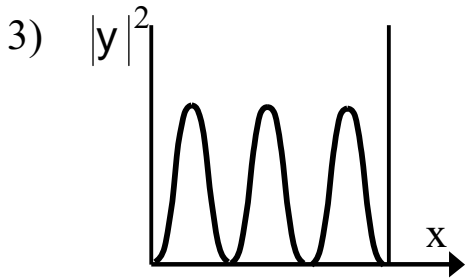
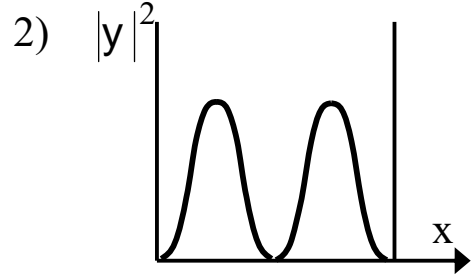
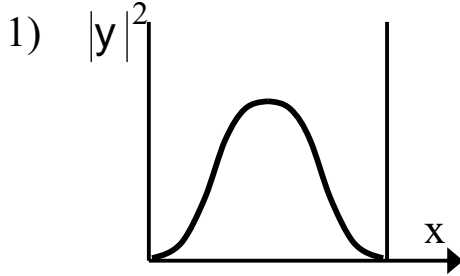


Рис. 3

Ответ: 1)1; 2)2; 3)3; 4)4.

114. На рисунке приведены картины распределения плотности вероятностей нахождения микрочастицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками (Рис. 4). Состоянию с квантовым числом  $n = 4$  соответствует график ...

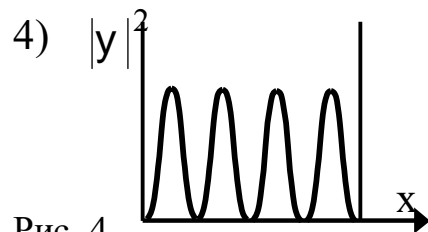
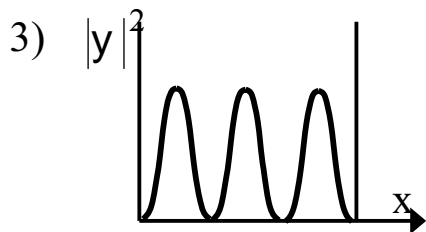
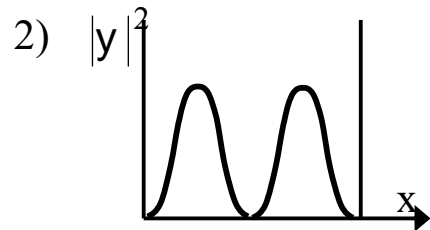
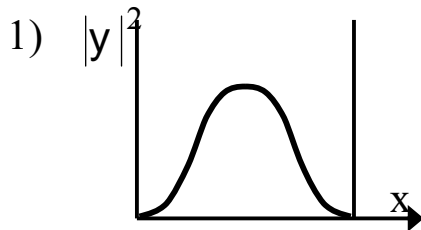


Рис. 4

Ответ: 1)1; 2)2; 3)3; 4)4.

115. Вероятность  $|y|^2$  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 5, то вероятность обнаружить

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

Ответ: 1)  $\frac{1}{3}$ ; 2)  $\frac{1}{2}$ ; 3)  $\frac{2}{3}$ ; 4)  $\frac{5}{6}$ .

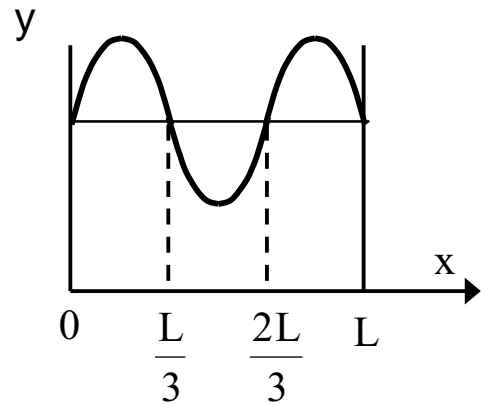


Рис. 5

116. 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 6, то вероятность обнаружить электрон на участке  $\frac{L}{6} < x < L$  равна ...

Ответ: 1)  $\frac{5}{6}$ ; 2)  $\frac{1}{2}$ ; 3)  $\frac{2}{3}$ ; 4)  $\frac{1}{3}$ .

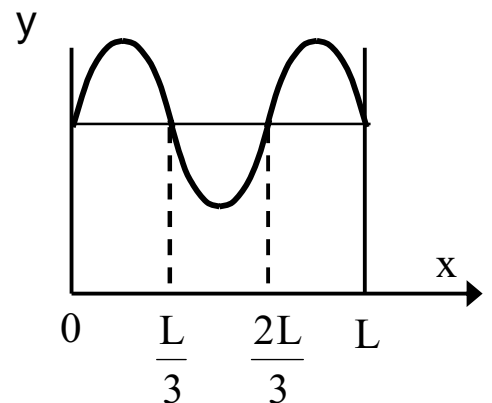


Рис. 6

117. 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

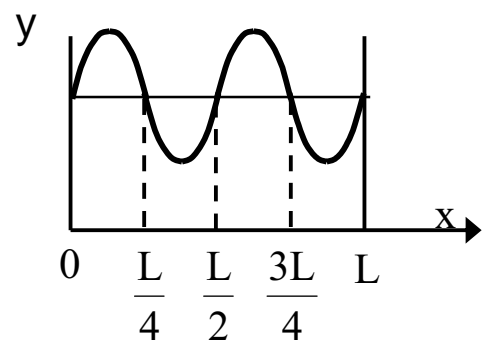


Рис. 7



рисунке 7, то вероятность обнаружить электрон на участке  $\frac{3L}{8} < x < L$  равна ...

Ответ: 1)  $\frac{5}{8}$ ; 2)  $\frac{1}{4}$ ; 3)  $\frac{3}{8}$ ; 4)  $\frac{1}{2}$ .

118. 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 8, то вероятность обнаружить электрон на участке  $\frac{5L}{8} < x < \frac{3L}{4}$  равна ...

Ответ: 1)  $\frac{1}{8}$ ; 2)  $\frac{1}{4}$ ; 3)  $\frac{3}{8}$ ; 5)  $\frac{5}{8}$ .

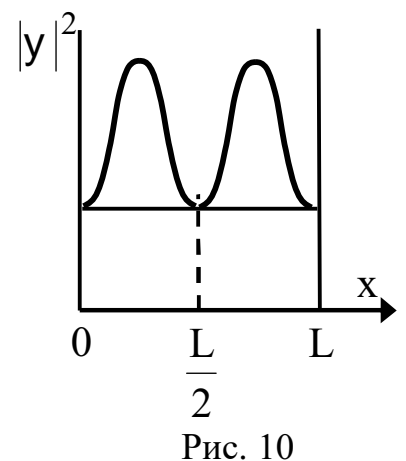
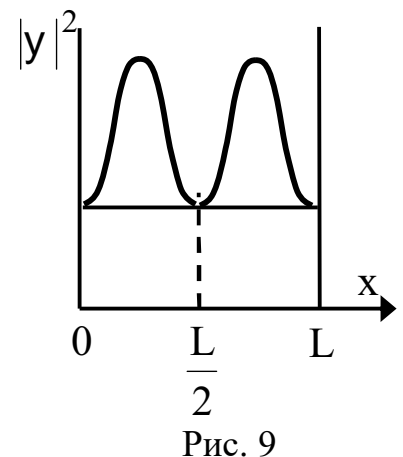
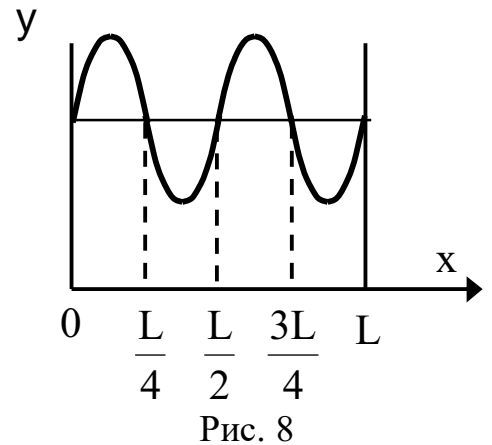
119. На рисунке 9 изображена плотность вероятности обнаружения микрочастицы на различных расстояниях от «стенок» ямы. Вероятность её обнаружения в центре ямы равна ...

Ответ: 1) 0; 2)  $\frac{3}{4}$ ; 3)  $\frac{1}{4}$ ; 4)  $\frac{1}{2}$ .

120. На рисунке 10 изображена плотность вероятности обнаружения микрочастицы на различных расстояниях от «стенок» ямы. Вероятность её обнаружения на участке  $\frac{L}{4} < x < \frac{L}{2}$  равна ...

Ответ: 1)  $\frac{1}{4}$ ; 2)  $\frac{3}{4}$ ; 3) 0; 4)  $\frac{1}{2}$ .

121. На рисунках 11 схематически представлены графики распределения плотности вероятности обнаружения электрона по ширине одномерного потенциального ящика с бесконечно высокими



стенками для состояний с различными значениями главного квантового числа  $n$ . В состоянии с  $n = 4$  вероятность обнаружить электрон в интервале от  $\frac{3}{8}l$  до  $l$  равна

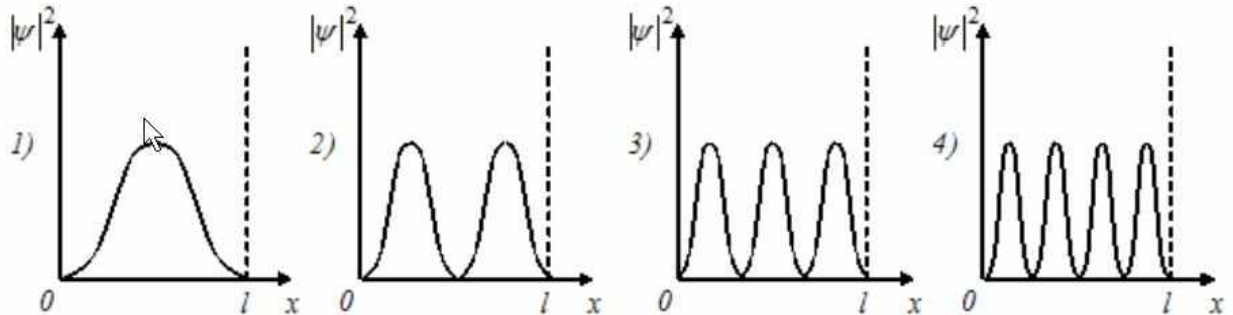


Рис. 11

*Ответ:* 1)  $5/8$ ; 2)  $3/8$ ; 3)  $3/4$ ; 4)  $7/8$ .

122. Частица находится в прямоугольном одномерном потенциальном ящике с непроницаемыми стенками шириной  $0,2$  нм. Если энергия частицы на втором энергетическом уровне равна  $37,8$  эВ, то на четвертом энергетическом уровне равна \_\_\_\_\_ эВ.

*Ответ:* 1)  $151,2$  2)  $75,6$  3)  $18,9$  4)  $9,45$

123. Электрон с энергией  $E = 100$  эВ попадает на потенциальный барьер высотой  $U = 64$  эВ. Определить вероятность  $W$  того, что электрон отразится от барьера.

*Ответ:*  $0,0625$

124. Электрон проходит через прямоугольный потенциальный барьер шириной  $d = 0,5$  нм. Высота  $U$  барьера больше энергии  $E$  электрона на  $1\%$ . Вычислить коэффициент прозрачности  $D$ , если энергия электрона: 1)  $E = 10$  эВ; 2)  $E = 100$  эВ.

*Ответ:*  $0,2$ ;  $6 \cdot 10^{-3}$

125. Ширина  $d$  прямоугольного потенциального барьера равна  $0,2$  нм. Разность энергий  $U - E = 1$  эВ. Во сколько раз изменится вероятность  $W$  прохождения электрона через барьер, если разность энергий возрастет в  $n = 10$  раз?

*Ответ:* уменьшится в  $84$  раза.

## Практическое занятие № 7

*Строение атома.*

126. Магнитное квантовое число  $m$  определяет...

*Ответ:*

- 1) проекцию орбитального момента импульса электрона на заданное направление;
- 2) собственный механический момент электрона в атоме;
- 3) орбитальный механический момент электрона в атоме;
- 4) энергию стационарного состояния электрона в атоме.

127. Азимутальное квантовое число  $l$  определяет...

*Ответ:*

- 1) орбитальный механический момент электрона в атоме;
- 2) собственный механический момент электрона в атоме;
- 3) энергию стационарного состояния электрона в атоме;
- 4) проекцию орбитального момента импульса электрона на заданное направление.

128. В единицах постоянной Планка  $\hbar$  спин электрона равен ...

*Ответ:* 1)  $1/2$ ; 2) 1; 3)  $3/2$ .

129. В атоме водорода К и L оболочки заполнены полностью. Общее число электронов в атоме равно.....

*Ответ:* 1) 10; 2) 8; 3) 28; 4) 6.

130. Энергия электрона в атоме водорода определяется значением главного квантового числа  $n$ . Если  $\frac{E_{n-1}}{E_{n+1}} = 4$ , то  $n$  равно...

*Ответ:* 1) 3; 2) 4; 3) 5; 4) 2

131. Атом водорода, находившийся первоначально в основном состоянии, поглотил квант света с энергией  $\epsilon = 10,2$  эВ. Определить изменение момента импульса  $\Delta L_l$  орбитального движения электрона. В возбужденном атоме электрон находится в  $p$ -состоянии.

*Ответ:* 1,49 Дж·с

132. Определить возможные значения магнитного момента  $m$ , обусловленного орбитальным движением электрона в возбужденном атоме водорода, если энергия  $\epsilon$  возбуждения равна  $12,09\text{эВ}$ .

*Ответ:*  $0; 1,31 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/Тл}; 2,27 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/Тл}$

133. Вычислить спиновый магнитный момент  $m_s$  электрона и проекцию магнитного момента  $m_z$  на направление внешнего поля.

*Ответ:*  $1,6 \cdot 10^{-23} \text{ А} \cdot \text{м}^2; 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$

134. Узкий пучок атомарного водорода пропускается в опыте Штерна и Герлаха через поперечное неоднородное ( $\partial B/\partial z = 2 \text{ кТл/м}$ ) магнитное поле протяженностью  $l = 8 \text{ см}$ . Скорость  $v$  атомов водорода равна  $4 \text{ км/с}$ . Определить расстояние  $b$  между компонентами расщепленного пучка атомов по выходе его из магнитного поля. Все атомы водорода в пучке находятся в основном состоянии.

*Ответ:*  $4,46 \text{ мм}$

135. Заполненный электронный слой характеризуется квантовым числом  $n = 3$ . Указать число  $N$  электронов в этом слое, которые имеют одинаковые следующие квантовые числа: 1)  $m_s = +1/2$ ; 2)  $m = 2$ ; 3)  $m_s = -1/2$  и  $m = 0$ ; 4)  $m_s = +1/2$  и  $l = 2$ .

*Ответ:*  $9, 2, 3, 5$

136. Вычислить множитель Ланде  $g$  для атомов с одним валентным электроном в состояниях  $S$  и  $P$ .

*Ответ:*  $2$  в  $S$ -состоянии,  $2/3$  и  $4/3$  в  $P$ -состоянии

137. Атом находится в состоянии  ${}^2D_{3/2}$ . Найти число возможных проекций магнитного момента на направление внешнего поля и вычислить (в магнетонах Бора) максимальную проекцию  $(M_{Jz})_{\text{max}}$ .

*Ответ:*  $1,2 \mu_B$

## Практическое занятие № 8

*Тепловые свойства кристаллов. Теория теплоемкости.*

138. Найти частоту  $\nu$  колебаний атомов серебра по теории теплоемкости Эйнштейна, если характеристическая температура  $\vartheta_E$  серебра равна 165К.

*Ответ: 3,44 ТГц*

139. Определить отношение  $\langle \epsilon \rangle / \langle \epsilon_T \rangle$  средней энергий квантового осциллятора к средней энергии теплового движения молекул идеального газа при температуре  $T = \vartheta_E$

*Ответ: 1,16*

140. Пользуясь теорией теплоёмкости Эйнштейна, определить изменение  $DU_m$  молярной внутренней энергии кристалла при нагревании его от нуля до  $T_1 = 0,1\vartheta_E$ . Характеристическую температуру  $\vartheta_E$  Эйнштейна принять для данного Кристалла равной 300К.

*Ответ: 340 Дж/моль*

141. Определить максимальную частоту  $\omega_{\max}$  собственных колебаний в кристалле золота по теории Дебая. Характеристическая температура  $\vartheta_D$  равна 180К.

*Ответ:  $2,36 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-1}$*

142. Определить относительную погрешность, которая будет допущена при вычислении теплоемкости кристалла, если вместо значения, даваемого теорией Дебая (при  $T = \vartheta_D$ ), воспользоваться значением, даваемым законом Дюлонга и Пти.

*Ответ: 4,83 %*

143. Вычислить молярную внутреннюю энергию  $U_m$  кристаллов с двухмерной решеткой, если характеристическая температура  $\vartheta_D$  Дебая равна 350К.

*Ответ: 2,91 МДж*

144. Какая мощность  $N$  требуется для того чтобы поддерживать температуру  $t_1 = 100^\circ\text{C}$ ; в термостате, площадь  $S$  поверхности которого равна  $1,5 \text{ м}^2$  толщина  $h$  изолирующего слой равна 2см и внешняя температура  $t = 20^\circ\text{C}$ ?

*Ответ: 600 Вт*

145. Определить квазиимпульс  $\Gamma$  фонона, соответствующего частоте  $\omega=0,1/\omega_{\max}$ . Усредненная скорость  $u$  звука в кристалле равна 1380 м/с, характеристическая температура  $\Theta_D$  Дебая равна 100К. Дисперсией звуковых волн в кристалле пренебречь.

*Ответ:  $10^{-23}$  Н·с*

146. Вычислить фононное давление  $p$  в свинце при температуре  $T=42,5$ К. Характеристическая температура  $\Theta_D$  Дебая свинца равна 85К.

*Ответ: 46 МПа*

### Практическое занятие № 9

*Атомное ядро. Ядерные реакции.*

147. Из  $10^{10}$  атомов радиоактивного изотопа с периодом полураспада 20 мин, через 40 минут не испытают превращение примерно

*Ответ: 1)  $2,5 \cdot 10^9$  атомов; 2)  $2,5 \cdot 10^5$  атомов; 3)  $5 \cdot 10^5$  атомов 4)  $7,5 \cdot 10^9$  атомов.*

148. Период полураспада  $T_{1/2}$  радиоактивного нуклида равен 1 ч. Определить среднюю продолжительность  $\tau$  жизни этого нуклида.

*Ответ: 1) 1,44 года; 2) 2 года; 3) 0,5 года; 4) 15 мин.*

149. Определить активность  $A$  фосфора  $^{32}\text{P}$  массой  $m=1$  мг.

*Ответ: 1) 10,5 ТБк; 2) 10,5 Бк 3) 8 ТБк; 4) 11 Бк.*

150. Определить массу  $m_2$  радона  $^{222}\text{Rn}$ , находящегося в радиоактивном равновесии с радием  $^{226}\text{Ra}$  массой  $m_1=1$  г.

*Ответ: 1) 5мкг 2) 6,33 мкг 3) 7,5 мкг 4) 5,46 мкг*

151. Определить удельную энергию связи  $E_{\text{уд}}$  ядра  $^{12}_6\text{C}$ .

*Ответ: 1) 7,46 МэВ/нуклон; 2) 7,68 МэВ/нуклон; 3) 6,7 МэВ/нуклон; 4) 6,9 МэВ/нуклон.*

152. Какую наименьшую энергию  $E$  нужно затратить, чтобы оторвать один нейтрон от ядра азота  $^{14}_7\text{N}$

*Ответ: 1) 10,2 МэВ; 2) 10,6 МэВ; 3) 9,8 МэВ; 4) 9,4 МэВ*

153. Внутри атомного ядра произошло самопроизвольное превращение нейтрона в протон:  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ . С ядром в результате такого превращения произошел...

*Ответ:* 1)  $\beta^-$  - распад; 2) ядерная реакция деления; 3) ядерная реакция синтеза; 4)  $\beta^+$  - распад; 5)  $\alpha$  - распад.

154. Сколько  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов должно произойти, чтобы торий  ${}^{232}_{90}\text{Th}$  превратился в стабильный изотоп свинца  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ .

*Ответ:* 1) 6  $\alpha$ -распадов и 4  $\beta$ -распада; 2) 7  $\alpha$ -распадов и 3  $\beta$ -распада; 3) 4  $\alpha$ -распада и 6  $\beta$ -распадов; 4) 5  $\alpha$ -распадов и 5  $\beta$ -распадов.

155. Сколько  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов должно произойти, что бы уран  ${}^{235}_{92}\text{U}$  превратился в стабильный изотоп свинца  ${}^{207}_{82}\text{Pb}$ .

*Ответ:* 1) 7  $\alpha$ -распадов и 4  $\beta$ -распада;

2) 5  $\alpha$ -распадов и 6  $\beta$ -распадов;

3) 8  $\alpha$ -распадов и 3  $\beta$ -распада;

4) 6  $\alpha$ -распадов и 5  $\beta$ -распадов.

156. В осуществлении ядерной реакции  ${}^{14}_7\text{N} + X \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$  участвует...

*Ответ:* 1)  $\alpha$ -частица; 2) протон; 3) нейтрон; 4) электрон.

157. При бомбардировке протонами ядер лития  ${}^7_3\text{Li}$  образуется  $\alpha$ -частица. Вторым продуктом реакции является...

*Ответ:* 1)  $\alpha$ -частица; 2) протон; 3) 2 протона; 4) нейтрон; 5) 2 нейтрона.

158. При бомбардировке протонами ядер изотопа азота  ${}^{14}_7\text{N}$  нейтронами образуется изотоп углерода  ${}^{11}_6\text{C}$ . Еще в ядерной реакции образуется...

*Ответ:* 1)  $\alpha$ -частица; 2) нейтрон; 3) 2 нейтрона; 4) протон; 5) 2 протона.

159. Два ядра гелия  ${}^4_2\text{He}$  слились в одно, при этом был излучен протон. В результате этой реакции образовалось ядро ...

*Ответ:* 1)  ${}^7_3\text{Li}$ ; 2)  ${}^7_4\text{Be}$ ; 3)  ${}^6_4\text{Be}$ ; 4)  ${}^6_3\text{Li}$ ; 5)  ${}^8_3\text{Li}$ .

160. При бомбардировке ядер изотопа азота  $^{14}_7\text{N}$  нейтронами образуется изотоп бора  $^{11}_5\text{B}$ . Ещё в этой ядерной реакции образуется

Ответ: 1)  $\alpha$ -частица; 2) нейтрон; 3) 2 нейтрона; 4) протон; 5) 2 протона.

161. Произошло столкновение  $\alpha$ -частицы с ядром бериллия  $^9_4\text{Be}$ . В результате образовался нейтрон и изотоп ...

Ответ: 1)  $^{12}_6\text{C}$ ; 2)  $^{12}_5\text{B}$ ; 3)  $^{10}_6\text{C}$ ; 4)  $^{13}_6\text{C}$ ; 5)  $^8_3\text{Li}$ .

162. На рисунке показана кварковая диаграмма  $\beta^-$  распада нуклона

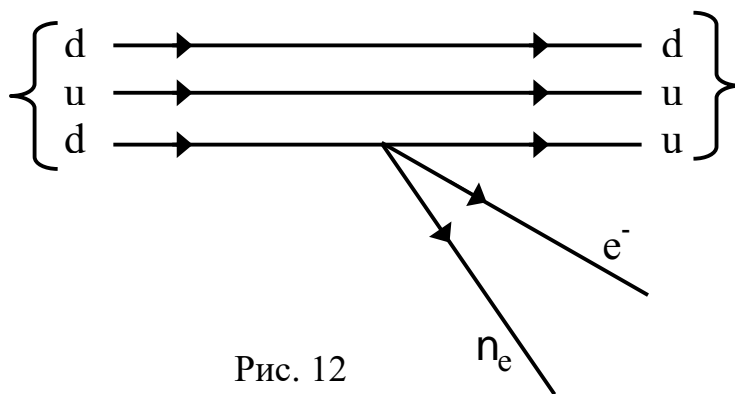


Диаграмма соответствует реакции ...

Ответ: 1)  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ ; 2)  $p \rightarrow n + e^- + \bar{\nu}_e$ ; 3)  $n \rightarrow n + e^- + \bar{\nu}_e$ ; 4)  $p \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ .

163. Нуклоны в ядре взаимодействуют посредством обмена виртуальными частицами. Процесс их образования соответствует схеме...

Ответ: 1)  $n \rightarrow p + p^-$ ; 2)  $p \rightarrow p + p^+$ ; 3)  $n \rightarrow p + p^+$ ; 4)  $n \rightarrow n + p^-$ .

164. Нестабильная частица движется со скоростью  $0,6 \cdot c$ . ( $c$  - скорость света в вакууме). Тогда время её жизни...

Ответ: 1) Увеличивается на 25%; 2) уменьшается на 10%; 3) уменьшается на 20%; 4) увеличивается на 10%.



165. В процессе сильного взаимодействия не принимают участие...

*Ответ: 1) фотоны; 2) нейтроны; 3) протоны.*

166. В процессе сильного взаимодействия принимают участие...

*Ответ: 1) протоны; 2) фотоны; 3) электроны.*

167. В процессе сильного взаимодействия принимают участие...

*Ответ: 1) нуклоны; 2) электроны; 3) фотоны.*

168. Позитрон является античастицей по отношению к...

*Ответ: 1) электрону; 2) нейтрону; 3) протону; 4) нейтрино.*

169. В гравитационном взаимодействии принимают участие...

*Ответ: 1) все элементарные частицы; 2) только частицы, имеющие нулевую массу покоя; 3) только нуклоны.*

170. Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов. Ядерные силы притяжения действуют между парами частиц ...

*Ответ: 1) протон-протон, протон-нейтрон, нейтрон-нейтрон;*

*2) только протон-протон;*

*3) протон-протон, нейтрон-нейтрон;*

*4) протон-протон, протон-нейтрон;*

*5) протон-нейтрон, нейтрон-нейтрон;*

*6) только нейтрон-нейтрон.*

## Список рекомендуемой литературы

1. Савельев, И. В. Курс физики : учебное пособие. // И. В. Савельев. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2007. - Т. 1: Механика. Молекулярная физика. – 352 с. – Текст: непосредственный.

2. Трофимова, Т. И. Курс физики : учебное пособие / Т. И. Трофимова. - 21-е изд., стер. - Москва: Академия, 2015. - 560 с. – Текст: непосредственный.

3. Курбачев, Ю. Ф. Физика: [ Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю. Ф. Курбачев. - Москва: Евразийский открытый институт, 2011. - 216 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=90773>. – Текст: электронный.

4. Барсуков, В. И. Физика. Механика : учебное пособие / В. И. Барсуков, О. С. Дмитриев; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2015. – 248 с. - Режим доступа: по подписке. - URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444574>. – Текст: электронный.

5. Полунин, В. М. Физика. Физические основы механики : конспект лекций / В. М. Полунин, Г. Т. Сычев ; Курский государственный технический университет. - Курск : КурскГТУ, 2002. - 180 с.

6. Полунин, В.М., Молекулярная физика и термодинамика : конспект лекций / В. М. Полунин, Г. Т. Сычев. - Курск : КГТУ, 2002. - 166 с.

7. Музыка, А. Ю. Механика и электромагнетизм: тексты лекций по общей физике [Электронный ресурс]: лекции / А. Ю. Музыка. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 280 с. : ил. - (Высшая школа). - ISBN 978-5-4458-9569-5. – Режим доступа: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256579>– Текст: электронный.

8. Прокудин, Д. А. Уравнения математической физики [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д. А. Прокудин, Т. В. Глухарева, И. В. Казаченко; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет». - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2014. - 163 с. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-8353-1631-1. -Режим доступа:<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=278923>–  
Текст: электронный.

9. Савельев, И. В. Курс общей физики [Текст]: учебник: в 3 т. / И. В. Савельев. - Изд. 11-е, стер. - СПб.: Лань, 2011. - Т. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - 496 с.

10. Трофимова Т.И. Курс физики [Текст]: учеб. пособие для вузов./ Т.И. Трофимова. –7-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2002. - 542 с.

11. Физика: постоянный ток, электромагнетизм, волновая оптика [Электронный ресурс]: практикум: учебное пособие / В.И. Барсуков, О.С. Дмитриев, В.Е. Иванов, Ю.П. Ляшенко.- Тамбов: ТГТУ, 2014. – 104 с. - Режим доступа:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277918>

12. Барсуков, В. И. Физика: постоянный ток, электромагнетизм, волновая оптика [Электронный ресурс]: практикум / В. И. Барсуков, О. С. Дмитриев, В. Е. Иванов, Ю. П. Ляшенко - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. - 104 с.- Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277918>

13. Яковенко, А., Соболев В. Р. , Бондарь В. А. Общая физика: сборник задач [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. А. Яковенко, В. Р. Соболев, В. А. Бондарь и др. ; под общ. ред. В. Р. Соболева. - Минск : Вышэйшая школа, 2015. - 456 с. - Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=448270>

14. Алтунин, К. К. Методы математической физики [Электронный ресурс]: учебное пособие / К. К. Алтунин. - 3-е изд. - М. : Директ-Медиа, 2014. - 123 с. - Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240552>

15. Перунова, М. Трудные вопросы курса физики: электромагнитная индукция [Электронный ресурс]: учебное пособие / М. Перунова; ОГУ. - Оренбург : ОГУ, 2014. - 120 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259218>

16. Малышев, Л. Г. Избранные главы курса физики: электромагнетизм [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л. Г. Малышев, А. А. Повзнер; Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. - Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2014. - 157 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275795>

17. Чертов А. Г., Воробьев А. А. Задачник по физике: учеб. пособие для втузов.-7-е изд., перераб. и доп. -М.: Издательство Физико-математической литературы, 2003.-640 с.

18. Савельев, И. В. Курс физики : учебное пособие. // И. В. Савельев. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2007. Т. 2: Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика. – 480 с. – Текст: непосредственный.

19. Савельев, И. В. Курс физики : учебное пособие. // И. В. Савельев. – 2-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2006. Т. 3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – 320 с. – Текст: непосредственный.

20. Трофимова, Т. И. Курс физики : учебное пособие / Т. И. Трофимова. - 21-е изд., стер. - Москва: Академия, 2015. - 560 с. – Текст: непосредственный.

21. Чертов, А. Г. Задачник по физике [Текст]: учебное пособие / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. - 7-е изд., перераб. и доп. – М: Физико-математической литературы, 2003. - 640 с.

22. Карпова, Г. В. Основы геометрической оптики : учебно-практическое пособие / Г. В. Карпова, В. М. Полуин, Г. Т. Сычѳв; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск : ЮЗГУ, 2012. - 57 с. – Текст: электронный.

23. Физика: постоянный ток, электромагнетизм, волновая оптика [Электронный ресурс]: практикум: учебное пособие / В. И. Барсуков, О. С. Дмитриев, В. Е. Иванов, Ю. П. Ляшенко. - Тамбов: ТГТУ, 2014. – 104 с. - Режим доступа : <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277918>