

Hurmatli talabar!

quyida keltirilgan o'z guruhingizga tegishli ro'yxatdan  
tartib raqamingiz bo'yicha variantlaringizni olib mustaqil  
ishlarni bajaring va moodle tizimiga joylang

**9 – mavzu 1 – mustaqil ish**

**10 – mavzu 2 – mustaqil ish**

#	PHY208-2
1	Abduraximov Kamronbek
2	Azizbek Rasulov
3	Erkinov Xasan
4	Isakov Muxammadali
5	Maqsudov Jo'rabek
6	Mirkamalova Farida
7	Mukatdisov Ilyas
8	Muminov Nurkomil
9	Murotov Abdusamad
10	Muzrobbekov Shahzodbek
11	Nasriddinov Jasurbek
12	Nishonboyev Rustam
13	Ochilov Doniyor
14	Omonxo'jayev Saidabrorxon
15	Qosimov Shoxruh
16	Rakhmanov Nodirjon
17	Rasulov Sanjar
18	Rayimov Temur
19	Saidov Isroilxo'ja
20	Sharifbayev Fozilbek
21	Shoraximov Sho-Aziz
22	Sidiqov Furqat
23	Sobirjonov Umidjon
24	Sultanov Shohjahon
25	Sultonov Shoxruh
26	Suyunov Umidullo
27	Xamidov Mansurbek

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ  
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

**КАФЕДРА ФИЗИКИ**

**Сборник задач и методические указания  
к практическим занятиям по физике**

**ЧАСТЬ III**

**КОЛЕБАНИЯ, ВОЛНЫ, ОПТИКА  
И АТОМНАЯ ФИЗИКА**

**Ташкент-2013**

**ЧАСТЬ III**  
**КОЛЕБАНИЯ, ВОЛНЫ, ОПТИКА**  
**И АТОМНАЯ ФИЗИКА**

Утверждено и рекомендовано к тиражированию НМС ТУИТ  
протокол № 28 от 6.05 2010 г.

Ответственный редактор: доктор физ.-мат. наук, проф.  
Абдурахманов К.П.

Составители: доц. Хайдаров К.Х.  
асс. Кормильцев С.В.

Данное методическое пособие составлено в соответствии с программой курса общей физики и содержит методические указания и задачи, распределенные по темам курса физики. По каждой теме подобрано порядка двухсот задач, в которые включены также задачи повышенной сложности.

Данное методическое пособие предназначено для студентов первого курса бакалавриата по направлениям «Информатика и информационные технологии», «Телекоммуникация», «Радиотехника», «Телевидение, радиосвязь и радиовещание», «Информационная безопасность», «Электронная коммерция», «Почтовая служба», «Сервис», «Профессиональная педагогика», для студентов «Специального факультета», а также может быть использовано студентами других технических ВУЗов.

Для самостоятельной подготовки студентов по каждой теме приведены контрольные вопросы по теории.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Сборник задач составлен в соответствии с программой курса общей физики и содержит методические указания и задачи, распределенные по темам курса физики, рассматриваемым во втором семестре. По каждой теме подобрано порядка двухсот задач, в которые включен ряд задач повышенной трудности, они отмечены звездочкой.

Знание законов физики предполагает умение не только формулировать эти законы, но и применять их при решении конкретных практических задач. Умение решать задачи способствует приобщению студентов к самостоятельной творческой работе, учит анализировать изучаемые явления, выделять главные факторы, их обусловившие. Наибольшую пользу приносит процесс решения задач при условии самостоятельности этого процесса, которую и призвано обеспечить данное методическое руководство.

Задачи для домашних заданий распределены по вариантам, каждый вариант содержит четыре задачи. Перед каждой темой приводятся краткие методические указания и рекомендации по решению задач, рассматриваются примеры решения задач в соответствии с разделением на темы в пределах каждой темы.

Самостоятельное решение задач возможно при условии усвоения соответствующего теоретического материала. Для этого по каждой теме приводятся контрольные вопросы, позволяющие помочь студентам при подготовке к занятиям. Пользуясь данным пособием, студент должен:

- целенаправленно, по контрольным вопросам и указанной литературе, изучить предлагаемый раздел;
- самостоятельно, опираясь на изученную теорию, методические указания и примеры, выполнить домашнее задание, номер варианта которого соответствует последним двум цифрам рейтинговой книжки студента.

При решении задач целесообразно руководствоваться следующими правилами:

1. Прежде всего, внимательно прочесть условие, вникнуть в него. Если характер задачи позволяет, обязательно сделать пояснительный рисунок.
2. Произвести анализ задачи, выяснить, о каких объектах или процессах идет речь, какие величины его определяют, каким физическим закономерностям подчиняются рассматриваемые явления.
3. Выбрать оптимальный метод решения задачи.
4. Решение задачи проводить сначала в общем виде, при этом искомая величина должна быть выражена через заданные в условии величины.
5. Подстановка числовых данных должна производиться в одной системе единиц – системе СИ.
6. В конце решения производиться проверка соответствия единиц измерения.

7. При оформлении домашнего задания используемые законы и формулы должны быть кратко, но исчерпывающе пояснены.

8. Если представляется возможным, оценить правдоподобность полученного численного ответа.

## СОБСТВЕННЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

### Контрольные вопросы

1. Какие колебания называются гармоническими? Дайте определение основных характеристик гармонического колебательного движения (смещения, амплитуды, фазы, периода, частоты, циклической частоты).
2. Как зависит смещение колеблющейся точки от времени? Запишите закон гармонических колебаний. Какое дифференциальное уравнение описывает гармоническое колебание?
3. Как графически можно задать гармонические колебания?
4. Какова закономерность изменения смещения, скорости и ускорения колеблющейся точки? Чему равны максимальные значения этих величин?
5. Что называется возвращающей силой? Какими свойствами она определяется? Какое условие необходимо для осуществления гармонического движения?
6. Как определяется период собственных колебаний математического и физического маятника? Что называется приведенной длиной физического маятника?
7. Как определяется амплитуда результирующего колебания при сложении колебаний, направленных вдоль одной прямой, если периоды колебаний одинаковы? Как определяется начальная фаза?
8. Разберите уравнение траекторий для случаев когда точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях одинакового периода и разности фаз равной  $0, \pi/2, \pi$ . При каких условиях возникают биения? Чему равна частота биений? Амплитуда биений? Как графически изображаются биения? Какова частота результирующего сложного колебания?
9. Как выражается энергия колебательной системы? От каких параметров она зависит? Как происходит взаимопревращения энергии при гармонических колебаниях?

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

В качестве гармонической функции в законе движения используются синус или косинус; причем выбор функции определяется начальными условиями. При решении задач часто требуются найти параметры, характеризующие гармонические колебания по заданному уравнению смещения. Это делается сравнением данного уравнения с законом гармонического колебания и дальнейшим учетом связи между частотой, циклической частотой и периодом, а также с применением известных кинематических закономерностей.

В задачах другого типа требуется найти параметры процесса по известным мгновенным или максимальным значениям смещения, скорости, ускорения. Здесь надо помнить, что максимальному смещению (равному

амплитуде) соответствует нулевое значение скорости и максимальное ускорение, направленное в сторону равновесия. Если известно, что смещение в некоторый момент максимально, то фаза колебания в этот момент равна  $\pi/2$ ; при максимальной скорости смещения фаза и ускорение равны нулю.

Целый ряд задач предполагает составления уравнений движения, использования связей между динамическими характеристиками, знаний динамических законов, применение законов сохранения и превращения энергии.

В задачах на нахождение траектории точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, следует исключить время в уравнениях складываемых колебаний.

В тех случаях, когда требуется найти период колебаний физического маятника, не следует забывать, что ось вращения не проходит через центр масс и при определении моментов инерции надо использовать теорему Штейнера о переносе осей вращения.

В основном же решение задач на колебательные процессы требует четкого знания формул и правильного использования связей между смещением, скоростью и ускорением.

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### Задача 1.

Точка совершает гармонические колебания. Максимальные смещения и скорость точки соответственно равны  $A = 0,05 \text{ м}$  и  $v_m = 0,12 \text{ м/с}$ . Найти величину максимального ускорения, а также скорость и ускорение точки в момент, когда смещение ее равно  $y = 0,03 \text{ м}$ .

### Решение.

Зависимость смещения колеблющейся точки для гармонического колебания выражается

$$y = A \sin(\omega t + \varphi),$$

где  $A$  - максимальное смещение, то есть амплитуда колебаний  
 $(\omega t + \varphi)$ -фаза колебаний.

Так как нет указаний в условии, то начало отсчета выбираем произвольно; положим  $\varphi = 0$  при  $t = 0$ , тогда

$$y = A \sin \omega t \quad (1)$$

Мгновенная скорость точки  $v$  равна первой производной от смещения по времени

$$v = \frac{dy}{dt} = \omega A \cos \omega t \quad (2)$$

где  $\omega A = v_m$  - максимальное значение скорости.

Мгновенное значение ускорения равно второй производной от смещения по времени

$$a = \frac{d^2 y}{dt^2} = -\omega^2 A \sin \omega t \quad (3)$$

где  $\omega A = a_m$  - максимальное значение ускорения.

Сравнивая значения  $v_m$  и  $a_m$  в уравнениях (2) и (3), получим



$$a_m = \frac{v_m^2}{A} \quad (4)$$

Если задано смещение точки в момент времени  $t$ , то из соотношения (1) находим  $\sin\omega t = \frac{y}{A}$ . Подставляя значения  $\sin\omega t$  в уравнение (3) получим мгновенное значение ускорения

$$a = -\frac{v_m^2}{A^2} y \quad (5)$$

и из уравнения (2) – мгновенное значение скорости

$$v = v_m \sqrt{1 - \left(\frac{y}{A}\right)^2} = \frac{v_m}{A} \sqrt{A^2 - y^2} \quad (6)$$

Подставим числовые значения (4), (5), (6)

$$a_m = \frac{(12)^2 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-2}} = 29 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2; \quad [a] = \left[ \frac{\text{м}^2 \text{с}^2}{\text{м}} \right] = \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right],$$

$$v = \frac{12 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-2}} \sqrt{25 \cdot 10^{-4} - 9 \cdot 10^{-4}} = 9,6 \cdot 10^{-2} \text{ м/с};$$

$$[v] = \left[ \frac{\text{м} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}}{\text{м}} \right] = \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$$

### Задача 2.

Точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выраженных уравнениями:  $x = 2\sin\pi t$   $y = -\cos\pi t$ . Найти и построить уравнение траектории точки определить скорость точки в момент  $t = 0,5$  с (смещения даны в сантиметрах).

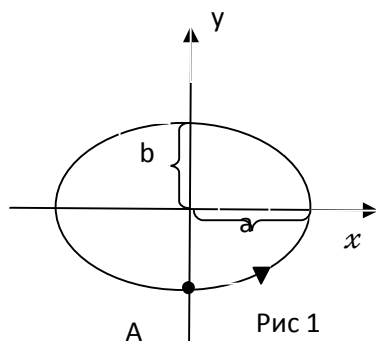
### Решение.

Так как циклические частоты слагаемых колебаний одинаковы, то траекторией движения точки будет эллипс. Исключим время  $t$  из заданных уравнений, для чего возведем в квадрат оба уравнения:

$$x^2 = 4\sin^2\pi t; \quad y^2 = \cos^2\pi t.$$

Воспользуемся формулой  $\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$  и получим:

$$\frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{1} = 1$$



Это каноническое уравнение эллипса с полуосями  $a = 2$  см и  $b = 1$  см. Для определения направлений движений точки учтем, что в момент  $t = 0$ ;  $x = 0$ ;  $y = -1$ , следовательно точка находится в положении А. при увеличении  $t$  увеличивается значение  $x$ , значит точка движется

против часовой стрелки. Скорости точки  $v$  при ее движении по эллипсу равна векторной сумме скоростей слагаемых колебаний, и так как они перпендикулярны  $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ ,

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 2\pi\cos\pi t,$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = \pi\sin\pi t,$$

$$v = \sqrt{4\pi^2\cos^2\pi t + \pi^2\sin^2\pi t} = \pi\sqrt{4\cos^2\pi \cdot 0,5 + \sin^2\pi \cdot 0,5} = 3,14 \text{ см/с}$$

### Задача 3.

Частица массой  $m = 0,01 \text{ кг}$  совершает гармонические колебания с периодом  $T = 2 \text{ с}$ . Полная энергия колеблющейся частицы  $E = 0,1 \text{ мДж}$ . Определите амплитуду  $x_m$  колебаний и наибольшее значение силы  $F$ , действующей на частицы.

### Решение.

Для определения амплитуды колебаний воспользуемся выражением полной энергии частицы

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2$$

Подставив сюда выражение  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  и выразив амплитуду, получим

$$x_m = \frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{2E}{m}} \quad (1)$$

Подставим числовые значения величин и произведём вычисления

$$x_m = \frac{2}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-4}}{10^{-2}}} \text{ м} = 0,045 \text{ м} = 45 \text{ мм}.$$

Так как частица совершает гармонические колебания, то сила, действующая на него, является квазиупругой и, следовательно, быть может выражена соотношением  $F = -kx$ , где  $k$  – коэффициент квазиупругой силы,  $x$  – смещение колеблющейся точки. Максимальное значение силы приобретает при максимальном смещении  $x_m$ , равном амплитуде, т.е.

$$F_m = kA \quad (2)$$

Коэффициент  $k$  выразим через период колебаний:

$$k = m\omega^2 = \frac{m4\pi^2}{T^2} \quad (3)$$

Подставив в уравнение (2) выражения для  $k$  из формулы (3) и  $A$  из формулы (1), после сокращений и упрощений получим

$$F_m = \frac{2\pi}{T} \sqrt{2mE}$$

Подставим числовые значения величин и произведём вычисления :

$$A = \frac{2 \cdot 3,14}{2} \sqrt{2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-4}} \quad H = 4,44 \cdot 10^{-3} \quad H = 4,44 \text{ мН}$$

### Задача 4.

На стержне длиной  $\ell$  укреплены 2 одинаковых грузика: один в середине стержня, другой – на одном из концов. Стержень с грузиками колеблется относительно оси, проходящей через другой конец стержня. Найти период маятника и приведенную длину. Массой стержня пренебречь.

### Решение.

Период физического маятника определяется по формуле  $T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}}$ , где  $I$  – момент инерции маятника,  $d$  – расстояние от центра масс до оси вращения.

Момент инерции маятника равен сумме моментов инерции грузиков, которые можно рассматривать как материальные точки с массой, т.е.

$$I = I_1 + I_2 = m_1 \ell^2 + m_1 \left(\frac{\ell}{2}\right)^2 = 1,25m_1 \ell^2.$$

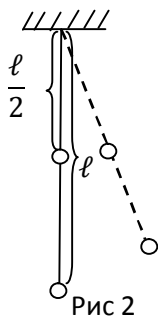
Масса маятника  $m = 2m_1$ . Центр тяжести будет находиться на середине расстояния между грузиками, т.е.

$$d = \frac{\ell}{2} + \frac{\ell}{4} = 0,75\ell.$$

Таким образом

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1,25m_1 \ell^2}{0,75\ell \cdot 2m_1 g}} = 2\pi \sqrt{\frac{5\ell}{6g}},$$

$$L_{\text{пр}} = \frac{J}{md} = \frac{1,25m_1 \ell^2}{2m_1 0,75\ell} = \frac{5\ell}{6}$$



**Таблица вариантов к теме 9**

<b>№ вар-та</b>	<b>Номера задач</b>				<b>№в ар-та</b>	<b>Номера задач</b>				<b>Задачи для сам. работы</b>
<b>1</b>	1	51	101	151	<b>26</b>	26	76	126	176	208
<b>2</b>	2	52	102	152	<b>27</b>	27	77	127	177	207
<b>3</b>	3	53	103	153	<b>28</b>	28	78	128	178	206
<b>4</b>	4	54	104	154	<b>29</b>	29	79	129	179	205
<b>5</b>	5	55	105	155	<b>30</b>	30	80	130	180	204
<b>6</b>	6	56	106	156	<b>31</b>	31	81	131	181	203
<b>7</b>	7	57	107	157	<b>32</b>	32	82	132	182	202
<b>8</b>	8	58	108	158	<b>33</b>	33	83	133	183	201
<b>9</b>	9	59	109	159	<b>34</b>	34	84	134	184	200
<b>10</b>	10	60	110	160	<b>35</b>	35	85	135	185	199
<b>11</b>	11	61	111	161	<b>36</b>	36	86	136	186	198
<b>12</b>	12	62	112	162	<b>37</b>	37	87	137	187	197
<b>13</b>	13	63	113	163	<b>38</b>	38	88	138	188	196
<b>14</b>	14	64	114	164	<b>39</b>	39	89	139	189	195
<b>15</b>	15	65	115	165	<b>40</b>	40	90	140	190	194
<b>16</b>	16	66	116	166	<b>41</b>	41	91	141	191	193
<b>17</b>	17	67	117	167	<b>42</b>	42	92	142	192	192
<b>18</b>	18	68	118	168	<b>43</b>	43	93	143	193	191
<b>19</b>	19	69	119	169	<b>44</b>	44	94	144	194	190
<b>20</b>	20	70	120	170	<b>45</b>	45	95	145	195	189
<b>21</b>	21	71	121	171	<b>46</b>	46	96	146	196	188
<b>22</b>	22	72	122	172	<b>47</b>	47	97	147	150	187
<b>23</b>	23	73	123	173	<b>48</b>	48	98	148	178	186
<b>24</b>	24	74	124	174	<b>49</b>	49	99	149	179	185
<b>25</b>	25	75	125	175	<b>50</b>	50	100	140	180	184

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Точка совершает гармонические колебания. В некоторый момент времени  $t_1$  смещение  $y_1 = 5$  см. При увеличении фазы вдвое смещение  $y_1 = 8$  см. Найти амплитуду колебания.

2. Координата частицы удовлетворяет уравнению  $B^2 \frac{d^2y}{dt^2} + y = 0$ .  
Найдите период колебания.

3. Записать уравнение гармонических колебаний, если амплитуда  $A = 10$  см, частота  $\nu = 2$  Гц и известно, что в начальный момент времени смещение максимально.

4. Точка совершает гармонические колебания. Наибольшее смещение точки  $A = 10$  см, наибольшая скорость  $v_m = 20$  см/с. Найдите циклическую частоту  $\omega$  колебаний и максимальное ускорение  $a_m$  точки.

5. Скорость тела, совершающего гармонические колебания, изменяется по закону  $v = 6 \cdot 10^{-2} \sin(100t)$  м/с. Записать уравнение гармонических колебаний. Найти максимальные значения для скорости и ускорения тела.

6. Уравнение колебаний материальной точки в единицах системы СИ имеет вид:  $x = 0,05 \cos \omega t$ . Определить амплитуду  $A$ , период колебаний  $T$ , начальную фазу и значения скорости и ускорения в начальный момент времени.

7. Уравнение колебаний точки имеет вид  $x = 0,05 \cos \omega(t + \tau)$ , где  $\omega = \pi \text{ с}^{-1}$ ,  $\tau = 0,2$  с. Определить период  $T$  и начальную фазу  $\varphi$  колебаний.

8. Определить период  $T$ , частоту  $\nu$  и начальную фазу  $\varphi$  колебаний, заданных уравнением  $y = A \sin \omega(t + \tau)$ , где  $\omega = 2,5 \pi \text{ с}^{-1}$ ,  $\tau = 0,4$  с.

9. Точка совершает колебания по закону  $y = A \sin(\omega t + \varphi)$ , где  $A = 4$  см. Определить начальную фазу, если:  $y_{(0)} = 2$  см,  $y'_{(0)} < 0$ .

10. Точка совершает колебания по закону  $x = A \cos(\omega t + \varphi)$ , где  $A = 2$  см,  $\omega = \pi \text{ с}^{-1}$ ,  $\varphi = \pi/4$  рад. Построить графики зависимости от времени: 1) смещение  $x(t)$ ; 2) скорости  $v(t)$ ; 3) ускорения  $a(t)$ .

11. Точка совершает колебания с амплитудой  $A = 4$  см и периодом  $T = 2$  с. Написать уравнение этих колебаний, считая, что в момент  $t = 0$  смещения  $x(0) = 0$  и  $x'(0) < 0$ . Определить фазу  $(\omega t + \varphi)$  для момента времени, когда скорость  $x' = -6$  см/с и  $x < 0$ .

12. Точка равномерно движется по окружности против часовой стрелки с периодом  $T = 6$  с. Диаметр окружности  $d = 20$  см. Написать уравнение движения проекции точки на ось  $x$  проходящую через центр окружности, если в момент времени, принятый за начальный, проекция на ось  $x$  равна 0. Найти смещение  $x$ , скорость  $v$  и ускорение  $a$ , проекции точки в момент  $t = 1$  с.

13. Дано уравнение гармонического колебания  $y = 2 \sin(\pi t/2 + \pi/4)$ . Найдите амплитуду, период, частоту, циклическую частоту и начальную фазу колебаний, также значение максимальной скорости и скорости, а момент времени  $t = T/4$ .

14. Уравнение колебаний материальной точки имеет вид:

$y = 0,2\sin\pi(t + 1/3)$  м. Определить амплитуду, период, начальную фазу и значение скорости и ускорения для момента времени  $t = 0,5$  с.

15. Уравнение колебаний материальной точки имеет вид:

$y = 0,1\sin\pi(t + 1/3)$  (в единицах системы СИ). Определить амплитуду, период, начальную фазу и значение скорости и ускорения в начальный момент времени.

16. В начальный момент гармонического колебательного движения точка имеет максимальное смещение. Амплитуда равна  $A = 2$  см, частота  $\nu = 3$  с<sup>-1</sup>. Написать уравнение колебания. Чему равна скорость через  $t = 0,4$  с после начала колебаний?

17. Уравнение колебаний материальной точки массой 25 г имеет вид  $x = 0,05\sin 3\pi t$  (в единицах СИ). Определить амплитуду, период и начальную фазу. Чему равна величина упругой силы в тот момент, когда смещение равно  $x = 4$  см?

18. Уравнение движения точки  $x = \sin\frac{\pi}{6}t$ . Найти моменты времени, в которые достигается максимальная скорость и максимальное ускорение.

19. Точка совершает гармоническое колебание. Период колебаний  $T = 2$  с, амплитуда  $A = 50$  мм, начальная фаза равна нулю. Найти скорость точки в момент времени, когда смещение точки от положения равновесия  $x = 25$  мм.

20. Начальная фаза гармонического колебания равна нулю. При смещении точки от положения равновесия  $x_1 = 2,4$  см, скорость точки  $v_1 = 3$  см/с, а при смещении  $x_2 = 2,8$  см, скорость точки  $v_2 = 2$  см/с. Найти период и амплитуду этого колебания.

21. Точка совершает колебания по закону  $x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$ , где  $A = 4$  см. Определить начальную фазу  $\varphi$ , если  $x(0) = 2$  см,  $v_0 = x'(0) > 0$ . Построить векторную диаграмму для момента  $t = 0$ .

22. Точка совершает колебания по закону  $x = A\cos(\omega t + \varphi)$ , где  $A = 4$  см. Определить начальную фазу  $\varphi$ , если  $x(0) = -2\sqrt{2}$  см, и  $v(0) = x'(0) < 0$ . Постройте векторную диаграмму для момента  $t = 0$ .

23. Точка совершает колебания по закону  $x = A\cos(\omega t + \varphi)$ , где  $A = 4$  см. Определить начальную фазу  $\varphi$ , если  $x(0) = -2\sqrt{3}$  см, и  $v_0 = x'(0) > 0$ . Постройте векторную диаграмму для момента  $t = 0$ .

24. Точка совершает колебания с амплитудой  $A = 4$  см и периодом  $T = 2$  с. Написать уравнение этих колебаний, считая, что в момент времени  $t = 0$  смещение  $x(0) = 0$ ,  $x'(0) < 0$ . Определить фазу  $(\omega t + \varphi)$  для момента времени, когда смещение  $x = 1$  см и  $v = x'(t) > 0$ .

25. В начальный момент колеблющаяся точка имеет максимальную положительную скорость. Определить смещение, скорость и ускорение точки спустя  $t = 1/12$  с после начала колебания, если амплитуда колебаний  $A = 2$  см, циклическая частота  $\omega = 4\pi$  с<sup>-1</sup>. Запишите уравнение колебаний точки с числовыми коэффициентами.

26. Определить смещение, скорость и ускорение гармонически колеблющейся точки через  $t = 0,01$  с после начала движения, если амплитуда колебаний  $A = 1$  см и частота  $\nu = 5$  с<sup>-1</sup>. В момент, выбранный за начальный,

точка имела максимальное положительное смещение, Запишите уравнение колебаний точки с числовыми коэффициентами в двух видах (через  $\sin\varphi$  и  $\cos\varphi$ ).

27. Точка совершает гармонические колебания с периодом  $T = 2$  с и амплитудой  $A = 0,1$  м. Определить скорость и ускорение в тот момент, когда смещение равно  $t = 0,06$  м.

28. Уравнение колебаний материальной точки имеет вид  $x = 0,04\sin\pi\left(t + \frac{1}{6}\right)$  м. Найти амплитуду, период, начальную фазу, значение скорости и ускорения в начальный момент, запишите уравнение этих колебаний через  $\cos\varphi$ .

29. Точка совершает гармонические колебания с частотой  $\nu = 10$  Гц. В момент, принятый за начальный, точка имела максимальное смещение  $x_m = 1$  мм. Написать уравнение колебаний точки и начертить график.

30. Материальная точка совершает колебания по закону синуса. Наибольшее смещение точки  $A = 20$  см, наибольшая скорость  $v_m = 40$  см/с. Написать уравнение колебаний и найти максимальное ускорение точки.

31. В начальный момент колеблющаяся точка имеет максимальное положительное смещение. Определить смещение, скорость и ускорение спустя  $0,4$  периода после начала колебаний. Амплитуда колебания  $A = 5$  см, период  $T = 0,1$  с. Запишите уравнение колебаний точки в двух видах (через  $\sin\varphi$  и  $\cos\varphi$ ) с числовыми коэффициентами.

32. Начальная фаза гармонического колебания равна нулю. Через какую долю периода скорость точки будет равна половине её максимального значения?

33. Определить максимальную скорость и максимальное ускорение точки, колеблющейся по закону  $x = 2\cos\pi(t + 1)$  см.

34. Определить максимальное значение скорости  $v_m$  и ускорения  $a_m$  точки, совершающей гармонически колебания с амплитудой  $A = 3$  см и циклической частотой  $\omega = \pi/2$  с<sup>-1</sup>,

35. Материальная точка совершает колебания по закону  $x = A\sin\omega t$ , где  $A = 6$  см,  $\omega = 2$  с<sup>-1</sup>. Определить ускорение точки в момент времени, когда её скорость  $v = 5$  см/с.

36. Колебания точки происходят по закону  $x = A\sin\omega t$ . В некоторый момент времени смещение  $x$  точки равно  $x = 2,5$  см, её скорость  $v = 10$  см/с, ускорение  $a = -40$  см/с<sup>2</sup>. Найти амплитуду  $A$ , циклическую частоту  $\omega$ , период  $T$  и фазу  $\omega t$  колебания в рассматриваемый момент времени.

37. Смещение материальной точки описывается уравнением  $x = A\cos\omega t$ . Максимальное смещение точки  $A = 10$  см. Через  $t_1 = 1$  с после начала колебаний оно равно  $x_1 = 5$  см, через  $t_2 = 2$  с — 0. Найти период колебания, уравнение смещения (с числовыми коэффициентами), максимальные скорость и ускорение, скорость и ускорение через  $t = 1$  с после начала движения.

38. Материальная точка гармонически колеблется. Через  $t = 0.1$  с после начала движения смещение точки от положения равновесия  $x = 5$  см, скорость  $v = 62$  см/с, ускорение  $a = -540$  см/с<sup>2</sup>. Определить амплитуду, циклическую частоту и начальную фазу колебаний.

39. Амплитуда гармонического колебания  $A = 5$  см, период  $T = 4$  с. Определить максимальные скорость и ускорение колеблющейся точки, если в начальный момент времени точка находилась в положении максимального смещения.

40. Через сколько времени после начала гармонических колебаний точки с периодом  $T = 12$  с и без начальной фазы, она сместится от положения равновесия на расстояние, равное половине амплитуды?

41. Максимальная скорость  $v_m$  точки, совершающей гармонические колебания, равна  $v_m = 10$  см/с, максимальное ускорение  $a_m = 100$  см/с<sup>2</sup>. Найти циклическую частоту  $\omega$  колебаний, и период  $T$  и амплитуду  $A$ . Написать уравнение колебаний, приняв начальную фазу равной нулю.

42. Определить начальную фазу колебания тела, если через  $t = 0,25$  с от начала движения смещение было равно половине амплитуды. Период колебаний  $T = 6$  с.

43. Колебания точки совершаются по закону  $x = 0,03\sin\pi(t + 0,5)$  м. Определить наибольшее значение скорости и ускорения. Чему равна фаза колебаний спустя  $t = 5$  с от начала движения.

44. Через сколько времени от начала движения точка, совершающая колебательное движение по закону  $x = 7\sin 0,5\pi t$ , проходит путь от положения равновесия до максимального смещения?

45. Материальная точка, совершая гармонические колебания, имеет наибольшее значение отклонение от положения равновесия  $x_m = 5$  см и совершает 30 полных колебаний за  $t = 1$  мин 30 сек. Составьте уравнение колебаний.

46. Частица совершает гармонические колебания с периодом  $T$ , амплитудой  $A$ . Найти  $t$ , за которое смещение частицы изменяется от 0 до  $A/2$ ?

47. Частица колеблется вдоль оси  $x$  по закону  $x = 0,1\sin 6,28t$  (м). Найти среднее значение модуля скорости частицы за период  $T$ .

48. Частица колеблется по закону  $x = 0,1\sin 2\pi t$  (м). Найти среднее значение модуля скорости частицы за первую  $1/8$  часть периода.

49. Точка колеблется по закону  $x = 0,6\cos(\frac{\pi}{6}t + \frac{\pi}{3})$ . Найти амплитуду, период, начальную фазу, а так же смещение и скорость точки в момент  $t = 0$ .

50. Найдите амплитуды скорости и ускорения материальной точки, которая гармонически колеблется по закону  $x = 8\cos(\frac{\pi}{0,1}t + \frac{\pi}{6})$ . Чему равны смещение и скорость в начальный момент времени?

51. Полная энергия тела, совершающего гармоническое колебательное движение, равна  $W = 2 \cdot 10^{-5}$  Дж, максимальная сила, действующая на тело,  $F_m = 10 \cdot 10^{-3}$  Н. Написать уравнение движения этого тела, если период колебаний  $T = 2$  с и начальная фаза  $\varphi = 30^\circ$ .



52. Чему равно отношение кинетической энергии точки, совершающей гармоническое колебание, к ее потенциальной энергии для моментов времени: 1)  $t = T/12$  с; 2)  $t = T/8$  с; 3)  $t = T/6$  с. Начальная фаза колебаний равна нулю.

53. Какую часть от своего максимального значения составляет упругая сила, действующая при гармоническом колебательном движении на материальную точку в тот момент, когда ее кинетическая энергия равна четверти от полной механической энергии колеблющейся точки?

54. Точка совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид:  $x = 0,05\sin 2t$  (ед. СИ). Найти момент времени (ближайший к началу отсчета) в который потенциальная энергия  $W = 10^{-4}$  Дж, а возвращается сила  $F = 5 \cdot 10^{-3}$  Н. Найти также фазу колебаний в этот момент времени.

55. Тело массой  $m = 5$  г совершает колебаний, которые в системе СИ описывается уравнением  $x = 0,1\sin(\pi/2(t + 1/3))$ . Найти численные значения кинетической и потенциальной энергии тела через  $t = 20$  с от начала движения. Чему равна полная энергия тела?

56. Полная энергия тела, совершающего гармонические колебания,  $W = 5 \cdot 10^{-7}$  Дж, амплитуда колебаний  $A = 2 \cdot 10^{-2}$  м. Определить: 1) смещение, при котором на тело действует сила  $F = 2,25 \cdot 10^{-5}$  Н; 2) максимальную силу, действующую на тело.

57. Тело массой  $m = 5$  г совершает колебание, которое в системе СИ описывается уравнением  $x = 0,1\cos \frac{\pi}{2}(t + 1/2)$ . Найти численные значения кинетической и потенциальной энергии тела через  $t = 10$  с от начала движения. Чему равна полная энергия тела?

58. Колебания материальной точки  $m = 0,1$  г происходят по уравнению  $x = A\cos\omega t$ , где  $A = 5$  см,  $\omega = 20$  с $^{-1}$ . Найти максимальное значение возвращающей силы.

59. Материальная точка совершает гармоническое колебательное движение с амплитудой  $A = 5$  см. Определить значения кинетической, потенциальной и полной энергии для того момента, когда на точку действует максимальная упругая сила, равная  $F = 0,2$  Н.

60. Точка совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид:  $x = 5\sin 2t$  (длина – в сантиметрах, время – в секундах). В момент, когда возвращающая сила впервые приняла значение  $F = 5$  мН, точка обладала потенциальной энергией  $\Pi = 0,1$  мДж. Найти этот момент времени  $t$  и соответствующую ему фазу  $\varphi$  колебания.

61. Тело массой  $m = 5$  г совершает колебание, которое описывается уравнением:  $x = 0,1\sin \frac{\pi}{2}(t + \frac{1}{3})$ . Найти значения кинетической и потенциальной энергии тела через  $t = 20$  с от момента времени  $t(0) = 0$ . Чему равна полная энергия тела?

62. Полная энергия тела, совершающего гармоническое колебательное движение, равна  $W = 3 \cdot 10^{-5}$  Дж, максимальная сила, действующая на тело, равна  $F_m = 1,5 \cdot 10^{-3}$  Н. Написать уравнение движения этого тела, если

период колебаний равен  $T = 2\text{ с}$  и начальная фаза  $\varphi = 60^\circ$ . Амплитуда гармонических колебаний материальной точки  $A = 2\text{ см.}$ , полная энергия колебаний  $W = 3 \cdot 10^{-7}\text{ Дж}$ . При каком смещении от положения равновесия на колеблющуюся точку действует сила  $F = 2,25 \cdot 10^{-5}\text{ Н}$ ?

63. Чему равно максимальное значение упругой силы, действующей на материальную точку, колеблющуюся с амплитудой  $A = 12\text{ см}$ , если полная механическая энергия точки равна  $W = 0,03\text{ Дж}$ ?

64. Какую часть от своего максимального значения составляет упругая сила, действующая при гармоническом колебательном движении материальной точки, в тот момент, когда ее кинетическая энергия равна одной трети от полной механической энергии колеблющейся точки?

65. Уравнение колебаний материальной точки массой  $m = 0,01\text{ г}$  имеет вид  $x = 0,05\sin\pi(0,2t + 0,25)\text{ м}$ . Найти закон изменения силы и значение ее, когда точка находится в крайнем положении.

66. Материальная точка массой  $m = 0,01\text{ кг}$  совершает гармонические колебания с периодом  $T = 2\text{ с}$  и начальной фазой, равной нулю. Полная энергия колеблющейся точки  $W = 0,1\text{ мДж}$ . Найти амплитуду колебаний и смещение точки в момент  $t = 3\text{ с}$ .

67. Чему равна кинетическая энергия колебаний материальной точки в тот момент, когда смещение  $x = 0,05\text{ м}$ ? Амплитуда колебаний

$A = 0,15\text{ м}$ , масса точки  $m = 0,2\text{ кг}$ .

68. На математический маятник длиной  $l = 1\text{ м}$  и массой  $m = 10\text{ г}$  момент  $t = 0$  действует максимальная квазиупругая сила. Найти мгновенное значение силы для момента времени  $t = 1,5\text{ с}$ , а также значение полной энергии.

69. Грузик массой  $m = 250\text{ г}$  подвешенный к пружине, колеблется с периодом  $T = 1\text{ с}$  и с амплитудой  $A = 2\text{ см}$ . Найти полную энергию и максимальное значение возвращающей силы, действующей на грузик.

70. Материальная точка массой  $m = 50\text{ г}$  совершает колебания по закону  $x = A\cos\omega t$ , где  $A = 0,1\text{ м}$ ,  $\omega = 5\text{ с}^{-1}$ . Найти силу, действующую на точку, когда фаза  $\omega t = 2\pi/5$ , а также в положении наибольшего смещения.

71. Гирия, подвешенная на пружине, колеблется по вертикали с амплитудой  $A = 4\text{ см}$ . найти полную энергию  $W$  колебаний гири, если жесткость пружины  $k = 1\text{ кН/м}$ ?

72. Уравнение колебаний материальной точки массой  $m = 16\text{ г}$  имеет вид  $x = 2\sin(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{4})\text{ см}$ . Найти максимальную силу, действующую на точку и кинетическую и потенциальную энергию точки для моментов времени  $t_1 = 0$ ;  $t_2 = \frac{T}{4}$ ;  $t_3 = \frac{T}{2}$ ;  $t_5 = \frac{3T}{4}$ ;  $t_6 = T$ .

Построить график зависимости каждой энергии от времени.

73. Чему равно отношение кинетической энергии к потенциальной для точки, совершающей гармонические колебания, в моменты, когда смещение от положения равновесия  $x = A$ ,  $x = \frac{2}{3}A$ ?

74. Уравнение движения точки массой  $m=20$  г дано в виде  $x = 2\sin\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{4}\right)$  см. Найти моменты времени, в которые кинетическая энергия максимальна. Чему равно значение кинетической и потенциальной энергии точки в моменты, когда: 1) смещение максимально? 2) равно одной восьмой от максимального значения?

75. Определить массу тела, совершающего гармонические колебания с амплитудой и  $A = 0,10$  м, частотой  $\nu = 2,0$  Гц и начальной фазой  $\varphi = 30^\circ$ , если полная энергия колебаний  $W = 7,7$  мДж. Через сколько секунд от начала отсчета времени кинетическая энергия будет равна потенциальной?

76. Найти величину скорости, ускорения и силы, действующей на точку в момент, когда смещение равно  $x = 1,5$  см, если ее масса  $m = 10$  г. частота колебаний  $\nu = 1$  Гц, амплитуда  $A = 5$  см.

77. Найти силу, действующую на точку, если ее масса  $m=60$  г,  $\nu = 5$  с<sup>-1</sup>, уравнение колебаний имеет вид  $x = A\cos\omega t$  для момента времени, когда фаза равна  $\omega t = \frac{\pi}{3}$ . Амплитуда колебаний  $A = 0,06$  см.

78. Колебания материальной точки  $m=0,1$  г происходят по уравнению  $x = A\cos\omega t$ , где  $A = 5$  см,  $\nu = 20$  с<sup>-1</sup>. Найти максимальное значение возвращающей силы  $F_m$ , а также мгновенное значение для момента времени  $t = 2$  с.

79. На тело массой  $m = 0,1$  кг действует сила  $F = -4,1x$  (Н), где  $x$  – смещение. В начальный момент времени смещение тела  $x_0 = 1,72$  см, а через  $t = 0,3$  с оно стало максимальным. Напишите кинематическое уравнение движения, найдите также скорость и ускорение точки.

80. Чему равно максимальное значение упругой силы  $F$ , действующей на материальную точку, колеблющуюся с амплитудой  $A = 0,12$  м, если полная механическая энергия точки  $W = 0,03$  Дж?

81. Какую часть от своего максимального значения составляет упругая сила, действующая при гармоническом колебательном движении материальной точки в тот момент, когда ее кинетическая энергия равна половине от полной механической энергии колеблющейся точки.

82. Чему равно для гармонически колеблющейся точки отношение кинетической энергии к потенциальной для момента времени, когда смещение точки от положения равновесия  $x = A/4$ , где  $A$  – амплитуда колебаний?

83. Чему равно для гармонически колеблющейся точки отношение кинетической энергии и потенциальной для момента времени, когда смещение точки от положения равновесия  $x = A/2$ ?  $A$  – амплитуда колебаний.

84. Точка колеблется по закону  $x = 0,2\sin\pi t$  (м) Определить смещение, скорость, возвращающую силу и потенциальную энергию для  $t = 1/6$  с от момента начала колебаний.

85. Какова масса тела, если она совершает гармонические колебания с амплитудой  $A = 0,2$  м, частотой  $\nu = 2$  с<sup>-1</sup>, начальной фазой  $\varphi = \pi/6$ , если полная энергия  $W = 5,4$  мДж? Через сколько времени кинетическая энергия станет равна потенциальной?

86. В начальный момент времени смещение точки  $x = 4,2$  м, а скорость  $v = 3,2$  м/с. Масса частицы  $m = 4$  кг, полная энергия  $W = 79,5$  Дж. Написать закон гармонического колебания точки.

87. Материальная точка массой  $m = 10$  кг колеблется по закону  $x = 5\sin\left(\frac{\pi}{5}t + \frac{\pi}{5}\right)$  см. Найти максимальную силу, действующую на точку и полную энергию колеблющейся точки, амплитуду скорости и амплитуду ускорения.

88. Материальная точка массой  $m = 0,01$  кг совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид  $x = A\sin\omega t$ , где  $A = 0,2$  м,  $\omega = 8\pi$  с<sup>-1</sup>. Найти возвращающую силу  $F$  в момент времени  $t = 0,1$  с, а также полную энергию точки.

89. Шарик массой  $m = 0,010$  кг совершает гармонические колебания с амплитудой  $A = 0,03$  м и частотой  $\nu = 10$  с<sup>-1</sup>. Начальная фаза колебания равна нулю, получите закон изменения силы, действующей на шарик. Определите: а) полную энергию шарика; б) значение действующей силы и отношение потенциальной энергии к кинетической для момента времени, когда шарик удален от положения равновесия на  $x = 0,02$  м.

90. Материальная точка совершает гармонические колебания с амплитудой  $A = 5$  см. Найти значения кинетической, потенциальной и полной энергии для того момента, когда на тело будет действовать максимальная упругая сила  $F_m = 0,2$  Н.

91. В некоторый момент времени упругая сила, действующая на колеблющуюся точку, равна половине ее максимального значения какую часть от ее максимального значения составляет в этот момент кинетическая энергия точки?

92. Колеблющаяся точка массы  $m = 0,02$  кг имеет амплитуду колебаний  $A = 5$  см. Определить, чему равна кинетическая, потенциальная и полная энергия, в тот момент, когда смещение  $X$  точки составляет половину амплитуды. Период колебаний точки  $T = 1,2$  с.

93. Материальная точка массой  $m = 0,1$  г колеблется согласно уравнению  $x = 5\sin 20t$  (длина - в сантиметрах, время - в секундах). Определить максимальное значение возвращающей силы  $F_m$  и кинетической энергии  $W_k$  точки.

94. Материальная точка массой  $m = 0,01$  кг совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид:  $x = 0,2\sin 8\pi t$  (длина в сантиметрах, время - в секундах). Найти возвращающую силу в момент  $t = 0,1$  с, а также полную энергию точки.

95. К пружине подвешен груз. Зная, что максимальная кинетическая энергия колебания груза равна  $W_k = 1$  Дж, найти коэффициент деформации пружины. Амплитуда колебаний  $A = 5$  см.

96. В некоторый момент упругая сила, действующая на гармонически колеблющуюся точку, равна половине ее максимального значения. Какую часть от максимального значения составляет в этот момент кинетическая энергия точки?

97. Точка совершает колебания:  $x = 0,1\sin 2t$  м. В момент, когда возвращающая сила впервые достигла значение  $F = 10^{-2}$  Н, точка обладает энергией  $W = 2 \cdot 10^{-4}$  Дж. Найти этот момент времени  $t$  и соответствующую ему фазу колебаний.

98. Точка совершает колебания, описываемые уравнением  $x = 5\sin 2t$  м. В некоторый момент времени сила, действующая на точку, и её потенциальная энергия соответственно равны  $F = 5 \cdot 10^{-3}$  Н и  $W = 10^{-4}$  Дж. Чему равна фаза колебаний и кинетическая энергия точки в этот момент времени?

99. Определите значение кинетической, потенциальной и полной энергии колеблющейся материальной точки массой  $m = 25$  г для того момента времени, когда смещение равно  $x = 3$  см. Амплитуда колебаний  $A = 3$  см, период  $T = 2$  с.

100. Скорость тела, совершающего гармонические колебания, изменяется по закону:  $v = 300\sin 100t$  (м/с). Найти кинетическую, потенциальную и полную энергию тела для момента  $t = 2$  с, если масса тела  $m = 16$  г.

101. Амплитуды и периоды двух совершаемые одновременно вдоль одной прямой, гармонических колебаний материальной точки одинаковы, фазы же различаются на  $2/3\pi$ . Уравнение результирующего колебания имеет вид:  $x = 0,2\cos(\omega t + \pi)$  м. Определить амплитуды и начальные фазы слагаемых колебаний и написать их уравнения.

102. Уравнение биений материальной точки имеет вид:  $x = (0,1\cos 0,01t)\cos 0,99t$ . Написать уравнение слагаемых колебаний и определить частоту биений.

103. Точка совершает 2 взаимно перпендикулярных колебаний происходящих по закону  $x = 1/2\sin t$ ,  $x = 2\cos t$ . Найти уравнение траектории точки.

104. Складываются 2 взаимно перпендикулярных колебания  $x = A_1 \sin \omega_1 t$ ,  $y = A_2 \cos \omega_2 t$ , где  $A_1 = 3$  см,  $A_2 = 4$  см,  $\omega_1 = \omega_2 = 2$  с<sup>-1</sup>. Написать уравнение траектории точки.

105. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, уравнения которых имеют вид:  $x = 0,30\cos \pi t$  и  $y = 0,40 \sin \pi t$  в системе СИ. Определите траекторию движения точка по кривой. Рассчитайте и укажите на чертеже скорость и ускорение точки в момент  $t = T/3$ .

106. Складываются два колебания одинакового направления и одинакового периода:  $x_1 = A_1 \sin \omega_1 t$  и  $x_2 = A_2 \sin \omega_2 (t + \tau)$ , где  $A_1 = A_2 = 3$  см;  $\omega_1 = \omega_2 = \pi$  с<sup>-1</sup>;  $\tau = 0,5$  с. Определить амплитуду  $A$  и начальную фазу  $\phi$  результирующего колебания. Написать его уравнение. Построить векторную диаграмму для момента времени  $t = 0$ .

107. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях происходящих согласно уравнениям:  $x = A_1 \cos \omega_1 t$  и  $y = A_2 \sin \omega_2 t$ , где  $A_1 = 2$  см,  $\omega_1 = 1$  с<sup>-1</sup>,

$A_2 = 4 \text{ см}$  ,  $\omega_2 = 2 \text{ с}^{-1}$  . Определить траектории точки. Построить траекторию с соблюдением масштаба, указать направление движения точки.

108. Точка совершает, одновременно два колебания, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями:  $x_1 = A_1 \sin \omega_1 t$  и  $y = A_2 \cos \omega_2 t$  , где  $A_1 = 2 \text{ см}$ ,  $\omega_1 = 1 \text{ с}^{-1}$ ,  $A_2 = 2 \text{ см}$ ,  $\omega_2 = 2 \text{ с}^{-1}$  . Найти уравнение траектории, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения.

109. Точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями:  $x = A_1 \cos \omega_1 t$  и  $y = A_2 \sin \omega_2 t$  , где  $A_1 = 4 \text{ см}$  ,  $A_2 = 6 \text{ см}$   $\omega_1 = 2 \omega_2$  . Найти уравнение траектории точки и построить её на чертеже; показать направление движения точки.

110. Материальная точка участвует в двух колебаниях, проходящих по одной прямой и выражаемых уравнениями:  $x_1 = A_1 \sin \omega_1 t$  ,  $x_2 = A_2 \cos \omega_2 t$  , где  $A_1 = 3 \text{ см}$  ,  $A_2 = 4 \text{ см}$  ,  $\omega_1 = \omega_2 = 2 \text{ с}^{-1}$  . Найти амплитуду  $A$  сложного движения, его частоту  $\nu$  и начальную фазу  $\varphi$  написать уравнение движения. Построить векторную диаграмму для момента времени  $t = 0$ .

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

112. Складываются два колебания одинакового направления и одинакового периода:  $x_1 = \sin \pi t$  и  $x_2 = \sin \pi(t + 0,5)$  (длина - в сантиметрах, время - в секунде). Определить амплитуду  $A$  и начальную фазу  $\varphi$  результирующего колебания. Написать его уравнение.

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

114. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно, перпендикулярных колебаниях, происходящих согласно уравнениям:  $x = 3 \cos t$  и  $y = 2 \sin t$  (длина в сантиметрах, время - в секундах). Определить траекторию точки траекторию с соблюдением масштаба, узнать направление движения точки.

115. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, уравнения которых имеют вид :  $x = \cos 2\pi t$  и  $y = 2 \cos \pi t$ . Определить траекторию движения точки и начертить ее с соблюдением масштаба. Если точка движется по замкнутой кривой, то укажите направление движения. Если же траектория движения не замкнута, то покажите пределы ее.

116. Материальная точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих вдоль одной прямой и имеющих одинаковые амплитуды и частоты, но отличающиеся по фазе на  $\pi/3$  . Уравнение смещения результирующего колебания в единицах системы СГС имеет вид:

$x = \cos \omega t$ . Определить амплитуды и начальные фазы слагаемых колебаний и написать уравнение этих колебаний.

117. Материальная точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих вдоль одной прямой. Уравнения слагаемых колебаний в единицах системы СИ имеют вид:  
 $x_1 = 0,08 \cos \pi \left( \frac{2t}{T} + \frac{1}{6} \right)$ ,  $x_2 = 0,12 \cos (2\pi vt + \pi/3)$ . Написать уравнение результирующего колебания и определить его амплитуду и начальную фазу.

118. Материальная точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих вдоль одной прямой и имеющих вид:  
 $x_1 = \cos \left( 10t + \frac{\pi}{6} \right)$ , и  $x_2 = \cos \left( 9t + \frac{\pi}{6} \right)$ . Написать уравнение результирующего колебания и определить частоту биений.

119. Материальная точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих вдоль одной прямой и имеющих вид:  
 $x = \cos \left( \pi t + \frac{T}{2} \right)$  и  $y = \cos \pi t$ . Написать уравнение результирующего колебания и определить частоту биений.

120. Материальная точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих вдоль одной прямой и имеющих вид:  
 $x = \cos \pi t$  и  $y = 3 \cos \pi (t + 0,5)$ . Написать уравнение результирующего колебания и определить частоту биений.

121. Материальная точка участвует, одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих вдоль одной прямой и имеющих вид:  
 $x = \sin \frac{\pi}{2} (t + 1)$  и  $y = 2 \cos \pi t$ . Написать уравнение результирующего колебания и определить частоту биений.

122. Точка совершает 2 взаимно перпендикулярных колебания, происходящих по закону  $x = \frac{1}{2} \sin t$ ,  $y = 2 \cos t$ . Найти уравнение траектории точки.

123. Складываются два гармонических колебания одного направления с периодами  $T = 0,5$  с и амплитудами  $A = 2$  см. Начальные фазы  $\varphi_1 = \pi/2$  и  $\varphi_2 = \pi/3$ . Определить вид результирующего колебания.

124. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями  $x = A_1 \cos \omega t$  и  $y = -A_2 \cos 2\omega t$  где  $A_1 = 2$  см,  $A_2 = 1$  см. Найти уравнение траектории и построить ее.

125. Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и описываемых уравнениями:  $x = A_1 \sin \omega t$  и  $y = A_2 \cos 2\omega t$ . Найти уравнение траектории точки, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения. Принять:  $A_1 = 2$  см,  $A_2 = 3$  см.

126. Точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям описываемых уравнениями:  $x = A_1 \cos 2\omega t$  и  $y = A_2 \cos \omega t$ . Найти уравнение траектории точки, построить её с соблюдением масштаба и указать направление движения. Принять:  $A_1 = 2$  см,  $A_2 = 5$  см.

127. Точке участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям описываемых уравнениями:  $x = A_1 \sin \omega t$  и  $y = A_2 \cos \omega t$ . Найти уравнение траектории точки, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения. Принять:  $A_1 = 2$  см,  $A_2 = 3$  см.

128. Два камертона звучат одновременно. Частоты  $\nu_1$  и  $\nu_2$  их колебаний соответственно равны 440 Гц и 440,5 Гц. Определить период биений и период сложных колебаний.

129. Движение точки задано уравнениями  $x = A_1 \sin \omega t$  и  $y = A_2 \sin \omega(t + \tau)$ , где  $A_1 = 10$  см,  $A_2 = 5$  см,  $\omega = 2$  с<sup>-1</sup>,  $\tau = \pi/4$ . Найти уравнение траектории и скорости точки в момент времени  $t = 0,5$  с.

130. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями  $x = A_1 \cos \omega t$  и  $y = A_2 \sin \omega t$ , где  $A_1 = 2$  см,  $A_2 = 1$  см. Найти уравнение траектории точки и построить ее, указав направление движения.

131. Точка одновременно совершает два гармонических колебания, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями  $x = A_1 \sin \omega t$  и  $y = A_2 \cos \omega t$ , где  $A_1 = 0,5$  см,

$A_2 = 2$  см. Найти уравнение траектории точки и построить её указав направление движения.

132. То же что в задаче 131 если уравнения колебаний имеют вид:  $x = \sin 3\pi t$  и  $y = -\cos \pi(t + 0,5)$ .

133. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, происходящих согласно уравнениям:  $x = A_1 \cos \omega_1 t$ ,  $y = A_2 \sin \omega_2 t$ , где  $A_1 = 3$  см,  $\omega_1 = 1$  с<sup>-1</sup>,  $A_2 = 2$  см,  $\omega_2 = 1$  с<sup>-1</sup>. Определить траекторию точки. Построить траекторию с соблюдением масштаба, указав направление движения, точки.

134. Точка совершает одновременно две гармонических колебания, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями:  $x = A_1 \sin \omega_1 t$  и  $y = A_2 \cos \omega_2 t$ , где  $A_1 = 1$  см,

$\omega_1 = 0,5$  с<sup>-1</sup>,  $A_2 = 1$  см,  $\omega_2 = 1$  с<sup>-1</sup>. Найти уравнение траектории, построить ее с соблюдением масштаба и указать направление движения.

135. Складываются два колебания одинакового направления и одинакового периода:  $x_1 = A_1 \sin \omega_1 t$  и  $x_2 = A_2 \sin \omega(t + \tau)$ , где  $A_1 = 4$  см,  $A_2 = 1$  см,  $\omega_1 = \omega_2 = \pi$  с<sup>-1</sup>,  $\tau = 0,5$ . Определить амплитуду  $A$  и начальную фазу  $\varphi$  результирующего колебания. Написать его уравнение.

136. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, уравнение которых:  $x = A_1 \sin \omega_1 t$  и  $y = A_2 \cos \omega_2 t$ , где  $A_1 = 2$  см,  $A_2 = 1$  см,  $\omega_1 = \omega_2 = 1$  с<sup>-1</sup>. Написать уравнение траектории и построить ее не чертеже; показать направление движения точки.

137. Материальная точка участвует одновременно в двух гармонических колебаниях, происходящих вдоль одной прямой. Уравнения слагаемых колебаний в единицах системы СГС имеют вид:

$x_1 = 5 \cos \pi t$  и  $x_2 = 12 \cos \pi(t + 0,5)$ . Написать уравнение результирующего колебания и определить его амплитуду и начальную фазу.



138. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, уравнения которых имеют вид:

$x = 0,20\sin\pi(t + 0,5)$  и  $y = 0,10\cos 3\pi t$  в системе СИ. Определите траекторию движения точки, начертите ее с соблюдением масштаба и указанием ее пределов. Рассчитайте и укажите на чертеже скорость и ускорение точки в начальный момент.

139. То же, если уравнения колебаний имеют вид:

$x = 0,20\cos\pi t$  и  $y = 0,10\sin\frac{\pi t}{2}$  в системе СИ.

140. То же, если уравнения колебаний имеют вид:

$x = \sin 3\pi t$  и  $y = -\cos\pi(t + 0,5)$  в системе СИ.

141. То же, если уравнения колебаний имеют вид:

$x = 0,20\sin\frac{\pi t}{2}$  и  $y = 0,30\cos\pi t$  в системе СИ.

142. Точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, уравнения которых имеют вид:  $x = \sin\pi t$ ,  $y = \sin\pi(t + 0,5)$ . Определите траекторию движения точки и начертите ее с соблюдением масштаба. Если точка движется по замкнутой кривой, то укажите направление движения. Если же траектория движения незамкнута, то покажите пределы ее.

143. То же что в задаче 142, если уравнения колебаний имеют вид:

$x = 5\cos\pi t$  и  $y = 3\sin\pi(t + 0,5)$  м.

144. То же что в задаче 142, если уравнения колебаний имеют вид:

$x = 0,5\sin\pi(t + 0,5)$  и  $y = \sin\pi t$  м.

145. То же что в задаче 142, если уравнения колебаний имеют вид:

$x = \sin\pi t$  м и  $y = \sin 3\pi t$  м.

146. То же что в задаче 142, если уравнения колебаний имеют вид:

$x = 2\cos\pi t$  м и  $y = 3\cos\pi(t + 0,5)$  м.

147. То же что в задаче 142, если уравнения колебаний имеют вид:

$x = 2\cos\pi t$  м и  $y = \sin\frac{\pi t}{2}$  м.

148. То же что в задаче 142, если уравнения колебаний имеют вид:

$x = 3\cos\pi t$  м и  $y = 4\sin\pi t$  м.

149. То же что в задаче 142, если уравнения колебаний имеют вид:

$x = 0,5\cos\pi t$  м,  $y = 0,3\sin\pi(t + 0,5)$  м.

150. Маятник длиной  $l = 50$  м подвешен в кабине самолета, летящего горизонтально. Определить частоту колебаний маятника при ускорении самолета  $a = 3$  м/с<sup>2</sup>.

151. Маятник, представляющий собой груз на невесомой нити длиной  $l = 1$  м, совершает колебательное движение с амплитудой  $A = 50$  см. При этом максимальная сила натяжения подвески  $F_m = 100$  Н. Найти массу  $m$  груза.

152. На какую часть надо уменьшить длину массу математического маятника, чтобы периоды его колебаний на высоте  $h$  и на поверхности Земли были равны.

153. На концах стержня, масса которого  $m = 60$  г, и длина  $l = 49$  см, укреплены два шарика массами  $m_1 = 70$  г и  $m_2 = 90$  г, и стержень подвешен так, что может совершать колебания около

горизонтальной оси, проходящей через его середину. Определить период малых колебаний стержня.

154. Математический маятник глиной  $l_1 = 40$  см и физический маятник в виде тонкого прямого стержня длиной  $l_2 = 60$  см синхронно колеблются около одной и той же горизонтальной оси. Определить расстояние  $d$  центра тяжести стержня от оси колебаний.

155. Период колебаний тонкого однородного стержня относительно горизонтальной оси перпендикулярной стержню и проходящей на расстоянии  $l$  от его середины, равен периоду колебаний того же стержня относительно параллельной оси, проходящей через конец стержня. Какую часть составляет  $l$  от длины стержня.

156. Один конец пружины закреплен неподвижно, к другому ее концу подвесили гирьку массой  $m = 250$  г. После того, как гирьку оттянули вниз и затем отпустили, она начала колебаться с частотой равной  $\nu = 2$  с<sup>-1</sup>. Определить жесткость пружины. Какой массы грузик следует прикрепить к этой пружине, чтобы его колебания были с периодом  $T = 0,3$ с?

157. Обруч радиусом  $R = 10$  см подвешен на гвозде, вбитом в стену. С какой частотой будет колебаться обруч, если его отклонить на небольшой угол в направлении, параллельном стене, и затем отпустить? Плоскость обруча параллельна стене.

158. Верхний конец пружины закреплен неподвижно. К нижнему его концу подвесили грузик, вследствие чего пружина растянулась на 5 см. С каким периодом будут совершать колебания грузик, если его немного оттянуть вниз и затем отпустить?

159. На концах легкого стержня длиной  $l = 70$  см. укреплены два одинаковых груза. Стержень с грузами совершает колебания около оси перпендикулярной стержню и проходящей между грузами на расстоянии  $d = 25$  см от одного из них. Определять период колебаний. Массой стержня и размерами грузов пренебречь.

160. Математически маятник длиной  $l = 8$  см. в начальный момент имеет максимальную скорость, равную  $v_m = 20$  см/с. Определить амплитуду, круговую частоту, начальную фазу и написать уравнение смещения, подставив в него найденные значения в единицах системы СИ.

161. Математический маятник длиной  $l = 180$  м совершает гармонические колебания амплитудой  $A = 17$  см. При каком смещении скорость маятника равна  $v = 33$  см/с?

162. Однородный тонкий стержень длиной  $l = 1,2$  м совершает гармоническое колебательное движение. Горизонтальная ось колебаний проходит через конец стержня. Определить период колебаний  $T$ .

163. Шарик, подвешенный на нити длиной  $l = 2$  м, отклоняют на угол  $\varphi = 4^\circ$  и наблюдают колебания. Полагая колебания незатухающими гармоническими, найти скорость шарика при прохождении им положения равновесия. Проверить полученное решение, найдя скорость шарика при прохождении им положения равновесия из уравнений механики.

164. К пружине подвешен груз  $P = 100 \text{ Н}$ . Зная, что пружина под влиянием силы  $F = 10 \text{ Н}$  растягивается на  $\Delta x = 1,5 \text{ см}$ , определить период вертикальных колебаний груза.

165. За какое время маятник отклонился от положения равновесия на половину амплитуды, если период  $T = 7,2 \text{ с}$ ? Начальная фаза равна нулю.

166. К спиральной пружине подвесили груз, масса которого  $m = 0,1 \text{ кг}$  значительно больше массы пружины, при этом пружина удлинилась на  $\Delta x_1 = 5 \text{ см}$ . Потом груз оттянули на  $\Delta x_2 = 3 \text{ см}$  и отпустили. Определить уравнение смещения груза, скорость в момент прохождения равновесия, полную энергию колеблющегося груза, соотношение между периодом колебаний кинетической (потенциальной) энергии периодом свободных колебаний

167. Математический маятник длиной  $l = 180 \text{ см}$  совершает гармонические колебания с амплитудой  $A = 17 \text{ см}$ . При каком смещении скорость маятника равна  $v = 35 \text{ см/с}$ ?

168. Чему равна скорость колебаний математического маятника длиной  $l = 125 \text{ см}$  в тот момент, когда смещение равно  $\Delta x = 5 \text{ см}$ ? Амплитуда колебаний  $A = 13 \text{ см}$ .

169. Математический маятник длиной  $l_1 = 0,4 \text{ м}$  и физический маятник в виде тонкого прямого стержня длиной  $l_2 = 0,6 \text{ м}$  синхронно колеблются около одной и той же горизонтальной оси. Определить расстояние  $d$  центра масс стержня от оси колебаний.

170. На математический маятник длиной  $l = 1,25 \text{ м}$  и массой  $m = 5 \text{ г}$  в начальный момент действует максимальная квазиупругая сила  $F = 2 \text{ Н}$ . Определить амплитуду, начальную фазу, написать уравнение смещения.

171. К пружине подвешен груз массой  $m = 10 \text{ г}$ . Зная, что пружина под влиянием силы  $F = 2,45 \text{ Н}$  растягивается на величину  $l = 1,5 \text{ см}$ , найти период вертикальных колебаний груза.

172. Определить скорость колебаний математического маятника длиной  $l = 140 \text{ см}$  в тот момент, когда ускорение колебаний равно  $a = 35 \text{ см/с}^2$ . Амплитуда колебаний  $A = 11 \text{ см}$ .

173. Однородный диск радиусом  $R = 30 \text{ см}$  колеблется около горизонтальной оси, проходящей через одну из образующих цилиндрической поверхности диска. Определить период колебаний диска.

174. На стержне длиной  $l = 30 \text{ см}$  укреплены два одинаковых грузика: один - в середине стержня, другой - на одном из его концов. Стержень с грузиками колеблется около горизонтальной оси, проходящей через свободный конец стержня. Определить приведенную длину  $L$  и период  $T$  колебаний. Массой стержня пренебречь.

175. Стержень длиной  $l = 40 \text{ см}$  колеблется около оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его верхний конец. Определить период колебаний такого маятника.

176. Диск радиусом  $R = 24 \text{ см}$  колеблется около горизонтальной оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно к

плоскости диска. Определить приведенную длину  $L$  и период колебаний  $T$  такого диска.

177. Качаясь, маятник проходит расстояние  $x = 4$  см от одного крайнего положения до другого и другого и достигает средней точки скорости  $v = 10$  м/с. Найти период его колебаний  $T$ .

178. Амплитуда колебаний математического маятника  $A = 0,04$  м, длина  $l = 1$  м. Определить ускорение в тот момент, когда скорость равна  $v = 0,1$  м/с.

179. Математический маятник за  $\frac{1}{2} T$  смещается на  $\Delta x = 20$  см. С какой амплитудой колеблется маятник? Начальная фаза колебаний равна  $\pi$ . Точка колеблется по закону косинуса.

180. Шарик повешен на невесомой нити длиной  $l = 36$  см. Определить период этого маятника, если он помещен в электрическое поле напряженностью  $E = 3 \cdot 10^5$  В/м, направленной вертикально вниз. Заряд шарика  $Q = -7$  нКл, масса  $m = 5$  г.

181. Определить ускорение свободного падения на Луне, если маятниковые часы идут на её поверхности в 2,46 раз медленнее, чем на земле.

182. Стержень длиной  $l = 50$  см совершает колебания около горизонтальной оси, проходящей через точку, которая расположена на расстоянии,  $a = 12,5$  см от конца стержня. Определите частоту колебаний стержня.

183. Как относятся длины математических маятников, если за одинаковое время один из них совершает  $N_1 = 30$ , а второй  $N_2 = ?$  колебаний?

184. Один из двух маятников совершает за одно и то же время  $\Delta N = 30$  колебаний меньше другого. Отношение их длин  $l_1 : l_2 = 9:4$ , Определить количество колебаний каждого маятника за это время.

185. Ареометр массой  $m$  и поперечным сечением  $S$  помещен в жидкость плотностью  $\rho$ . Ареометр погружают в жидкость несколько глубже, чем при равновесии, а затем отпускают. Определите период малых колебаний и укажите, как будет меняться период колебаний при изменении массы и плотности.

186. Маятниковые часы, идущие точно на уровне моря, подняты на высоту  $h = 2$  км. Сколько потребуется времени для того, чтобы по часам на этой высоте прошли одни сутки?

187. Маятниковые часы находятся на высоте  $h = 3$  км. Над уровнем моря. Насколько будут уходить вперед за сутки маятниковые часы, выверенные на этой высоте, если их перенести на уровень моря?

188. Секундный маятник длиной  $l = 1$  м отрегулирован при температуре  $T_0 = 273$  К. Период колебаний секундного маятника  $T = 2$  с, а коэффициент его линейного расширения  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$  К $^{-1}$ . На сколько секунд изменится этот период летом при температуре  $T_1 = 303$  К?

189. Математический маятник совершает колебания, амплитуда которых  $A = 0,03$  м, а период колебаний  $T = 3,9$  с. Определить наибольшую скорость маятника.

190. Маятник колеблется с периодом  $T$ . Во сколько раз изменится период маятника в лифте, который движется с ускорением  $a = 4,8 \text{ м/с}^2$ : а) направленным вниз, б) направленным вверх?

191. Как изменится период колебаний математического маятника при перемещении его точки подвеса: а) в горизонтальном направлении с ускорением  $a = 1,4 \text{ м/с}^2$ ; б) в вагоне, движущимся со скоростью  $v = 90 \text{ м/с}$  на повороте железнодорожного пути радиусом  $R = 90 \text{ м}$ ?

192. Маятник периодом  $T_1 = 1 \text{ с}$  представляет собой шарик массой  $m = 16 \text{ г}$ . Шарик, подвешенный на нитке из диэлектрика, заряжают отрицательным зарядом и помещают в электрическое поле, вектор напряжённости которого направлен вертикально вверх. Период колебаний маятника  $T_2 = 0,8 \text{ с}$ . Вычислить силу действия электрического поля на шарик.

193. Определить ускорение силы тяжести на поверхности Юпитера, если математический маятник длиной  $l = 0,66 \text{ м}$  колеблется там с периодом  $T = 1 \text{ с}$ .

194. Математический маятник подвешен к потолку электропоезда. Во сколько раз изменится его период колебаний, если вагону сообщить горизонтальное ускорение " $a$ "?

195. Однородный диск радиусом  $R = 0,1 \text{ м}$  совершает колебания вокруг горизонтальной оси, которая проходит через точку, расположенную на расстоянии  $R/2$  от центра диска, и перпендикулярна плоскости диска. Определить частоту колебаний диска.

196\*. Как изменится период вертикальных колебаний груза, висящего на двух одинаковых пружинах, если от последовательного соединения пружин перейти к параллельному соединению?

197\*. Медный шарик, подвешенный к пружине, совершает вертикальные колебания. Как изменится период колебаний, если к пружине подвесить вместо медного шарика алюминиевый такого же радиуса?

198\*. К пружине подвешена чашка весов с гириями. При этом период вертикальных колебаний равен  $T = 0,5 \text{ с}$ . После того, как на чашку весов положили еще добавочные гири, период вертикальных колебаний стал равен  $T_2 = 0,6 \text{ с}$ . На сколько удлинилась пружина от прибавления этого добавочного груза?

199\*. К резиновому шнуру длиной  $l = 40 \text{ см}$  и радиусом  $R = 1 \text{ мм}$  подвешена гиря весом  $P = 5 \text{ Н}$ . Зная, что модуль Юнга этой резины равен  $E = 0,3 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$ , найти период вертикальных колебаний гири.

200\*. Точка участвует одновременно в трех колебаниях, происходящих по одной прямой и выраженных уравнениями  $x_1 = 2 \cos t$ ,  $x_2 = -2 \sin(t - \frac{\pi}{4})$ ,  $x_3 = 2 \cos(t + \frac{\pi}{2})$  (смещение дано в сантиметрах). Определить амплитуду  $A_0$  и начальную фазу  $\varphi_0$  результирующего колебания.

201\*. Путь, равный амплитуде, колеблющаяся точка проходит от положения равновесия за четверть периода. Найти отношение путей, которые проходит точка за первую и вторую половины этого времени. Начальная фаза равна нулю.

202\*. На чашу весов, подвешенную на пружине, падает с высоты  $h$  груз массы  $m$  и остается на чашке. Коэффициент жесткости пружины  $k$ . Масса пружины и чашки по сравнению с массой груза мала. Удар груза о чашку считать абсолютно неупругим. Определить зависимость смещения груза на чашке от времени. За начало наблюдения принять момент наинизшего положения груза.

203\*. Однородный прямоугольный стержень длиной  $l$  колеблется вертикальной плоскости около горизонтальной оси, которая может перемещаться вдоль длины стержня. Определить зависимость периода и колебаний от расстояния между осью вращения и центром массы; наименьший период колебаний стержня при малых отклонениях от положения равновесия.

204\*. Из однородного диска радиусом  $R$  сделали физический маятник. Вначале ось проходит через одну из образующих диска, потом на расстоянии  $R/2$  от центра диска, параллельно первой оси. Определить отношение периодов колебаний диска; расстояние от центра до оси, перпендикулярной к плоскости диска, относительно которой период колебаний наименьший.

205\*. Чему равна при гармоническом колебании работа  $A$  квазиупругой силы за время, равное периоду колебаний?

206\*. Найти уравнение, связывающее значение импульса  $p_x = m\dot{x}$  со значениями координаты  $x$  одномерного гармонического осциллятора. Масса осциллятора  $m$ , частота  $\omega$ , амплитуда колебаний  $A$ .

207\*. На каком расстоянии  $x$  от центра нужно подвесить тонкий стержень заданной длины  $l$ , чтобы получить физический маятник, колеблющийся с максимальной частотой? Чему равно значение этой частоты?

208\*. В кабине лифта подвешен маятник, период колебаний которого, когда лифт неподвижен, равен  $T_0$ . а) Каков будет период  $T$  колебаний маятника, если лифт станет опускаться с ускорением, равным  $0,75g$ ? б) С каким ускорением  $a$  нужно поднимать лифт чтобы период колебаний маятника был равен  $0,5 T_0$ ?

## ТЕМА № 10

### МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

#### **Контрольные вопросы:**

1. Какие колебания называются затухающими? Почему происходит затухание? В чем заключается физический смысл коэффициента затухания, как он определяется? Как выражается частота затухающих колебаний? Как изменяется амплитуда свободных (затухающих) колебаний?
2. Какие колебания называются вынужденными? Как определяется их амплитуда? Чему равен сдвиг фаз между смещением и вынуждающей силой? В чем заключается явление резонанса и когда оно возникает? Чему равна резонансная частота?
3. Опишите колебательные процессы, происходящие в колебательном контуре без сопротивления. Как меняются мгновенные значения заряда, напряжения и тока? Как определяется период собственных электромагнитных колебаний в контуре? Как преобразуется энергия в контуре?
4. Получите дифференциальные уравнения для случая собственных и вынужденных колебаний (механических и электрических).
5. Как меняются заряд, напряжение и сила тока с течением времени в случае затухающих колебаний? Чему равен логарифмический декремент колебания, в чем его смысл? Что характеризует коэффициент затухания?
6. Разберите методом векторных диаграмм вынужденные электрические колебания. Чему равно максимальное значение тока при вынужденных колебаниях? Как связаны между собой максимальные значения напряжения, тока, заряда?
7. В чем заключается резонанс напряжений? Резонанс токов?

#### **Методические указания к решению задач.**

При решении задач на свободные затухающие колебания учитывается, что их период зависит от величины коэффициента затухания и больше собственного, а частота – соответственно меньше собственной.

Во многих задачах, когда сопротивление среды незначительно, его влиянием на частоту и период пренебрегают ( $\beta^2 \ll \omega_0^2$ ) и рассчитывают эти величины слабозатухающих колебаний как для собственных.

Во многих задачах необходимо выразить логарифмический декремент колебаний системы или коэффициент затухания, это достигается, если записать выражения для амплитуд колебаний в равные моменты времени, и взять отношение этих амплитуд.

То же относится к электрическим колебаниям, где речь идет об отношении амплитудных значений заряда, тока, напряжения.

При определении параметров электрических колебаний, как и в случае механических, сравниваются заданное уравнение колебаний с законом изменения соответствующей величины – заряда, напряжения или тока (в соответствии с условием задачи). При этом используются связи между

амплитудными значениями заряда, напряжения и тока, а также частотой и периодом.

В основном же методы решения задач на электромагнитные колебания сходны с методами решения задач на механические колебания в силу одинаковой структуры уравнений и основных закономерностей. При этом, заряд соответствует смещению, индуктивность – массе, емкость – величине, обратной коэффициенту квазиупругой силы, омическое сопротивление – коэффициенту сопротивления среды.

### Примеры решения задач

#### Задача 1.

Определите логарифмический декремент колебаний маленького шарика, подвешенного на длинной невесомой нити длиной  $l = 0,5$  м, если за время  $\tau = 8$  мин. он теряет 99% своей энергии.

#### Решение.

Полная энергия колеблющегося тела пропорциональна квадрату амплитуды. Амплитуда затухающего колебания:

$$A = A_0 e^{-\beta\tau} \quad (1)$$

Из отношения конечной ( по истечении  $\tau = 8$  мин.) и начальной энергии можно найти величину коэффициента затухания. Для определения логарифмического декремента надо знать период колебаний математического маятника. Используя соотношение (1), можно написать:

$$E_1 \approx A_0^2 e^{-\beta t}; \quad E_2 \approx A_0^2 e^{-2\beta(t+\tau)} \quad , (2)$$

где  $t$  – заданный промежуток времени,  $E_1$  и  $E_2$  - значения энергий маятника в моменты времени, разделенные промежутком  $\tau$  . Из условия  $\frac{E_2}{E_1} = 0,01$ . Подставив сюда выражения (2), получим  $e^{-2\beta\tau} = 0,01$

$$\text{Отсюда} - 2\beta\tau = \ln 0.01; \quad -2\beta\tau = -4,6 \\ \beta = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$$

Период колебаний шарика рассчитываем по формуле математического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} = 1,46$$

$$\text{Логарифмический декремент } \delta = \beta T \\ \delta = 4,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1,4 = 6,7 \cdot 10^{-3}$$

#### Задача 2.

Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 5 мкФ и катушки индуктивностью 0,2 Гн. Определить максимальную силу тока в контуре, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора 90 В. Сопротивление контура пренебречь.

#### Решение.



При пренебрежимо малом сопротивлении колебания в контуре будут незатухающими и заряд на обкладках конденсатора изменяется со временем по формуле

$$Q = Q_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (1)$$

где  $Q_0$  - амплитуда колебания заряда,  $\varphi_0$  - начальная фаза,  $\omega_0$  - циклическая частота свободных незатухающих колебаний

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Сила, тока есть производная от заряда по времени. Поэтому, дифференцируя обе части (1) по времени, получим для силы тока в контуре

$$I = \frac{dQ}{dt} = Q_0 \omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Величина  $I_0 = Q_0 \omega_0$  является амплитудным или максимальным значением тока в контуре. Подставив  $\omega_0$  из формулы (2), и учитывая, что  $Q_0 = CU_0$  определим искомую величину

$$AI_0 = Q_0 \omega_0 = \frac{CU_0}{\sqrt{LC}} = U_0 \sqrt{\frac{C}{L}} = 90 \text{ В} \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}}{0,2 \text{ Гн}}} = 0,45$$

Этот же результат легко получить на основании закона сохранения энергии. Полная энергия контура (в случае не затухающих колебаний равна сумме энергий электрического поля конденсатора  $\frac{CU^2}{2}$  и магнитного поля катушки  $\frac{LI^2}{2}$ ) остается постоянной.

При этом, в те моменты, когда конденсатор максимально заряжен ( $U = U_0$ ), сила тока равна нулю. Следовательно, полная энергия контура  $E = \frac{CU^2}{2}$ .

В то время, когда конденсатор заряжен ( $U = 0$ ) сила тока достигает максимальное значение  $I_0$ . Полная энергия контура при этом  $E = \frac{LI_0^2}{2}$ .

Приравняв правые и левые части (3) и (4), мы получим  $I_0 = U_0 \sqrt{\frac{C}{L}}$ .

### Задача 3.

Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 5,0 \text{ Гн}$  и конденсатора емкостью  $C = 0,2 \text{ мкФ}$ . При этом логарифмическом декременте энергии колебательного контура уменьшиться на один порядок за три полных колебания?

### Решение.

Полная энергия контура, в котором происходят электромагнитные колебания, прямо пропорциональна квадрату амплитуды, например, напряжению на обкладках конденсатора. За счет омического сопротивления колебания будут затухающими и амплитуда напряжения (а также силы тока в других величин) – монотонно убывает со временем

$$U = U_{0m} e^{-\beta t} \sin(\omega t + \alpha) \quad (1)$$

где  $U_{0m}$  - постоянная величина, зависящая от начальных условий, то есть амплитудное значение напряжения в момент  $t=0$ . Амплитуда напряжения

$$U_m = U_{0m} e^{-\beta t} \quad (2)$$

по определению, логарифмический декремент

$$\delta = \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T \quad (3)$$

Выражая из (3) коэффициент затухания \* и подставляя его (3), получим

$$U_m(t) = U_{0m} e^{-\frac{\delta t}{T}} \quad (4)$$

В соответствии с условием, за время  $\tau = nT$  энергия системы уменьшилась в 10 раз, следовательно, амплитуда напряжения уменьшилась в  $\sqrt{10}$ .

Запишем это условие, используя выражение (4)

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_m(t)}{U_m(t+\tau)} = \frac{U_{0m} e^{-\frac{\delta t}{T}}}{U_{0m} e^{-\delta(\frac{t}{T} + \frac{nT}{T})}} = \sqrt{10}$$

Тогда  $e^{n\delta} = 10$  или  $\delta = \frac{\ln 10}{2n} = 0,38$ .

#### Задача4.

В электрической цепи, содержащей последовательно соединенные сопротивление  $R = 20$  м, емкость  $C = 0,1$  мкФ, катушку и индуктивностью  $L = 1$  мГн, действует переменная ЭДС, меняющаяся по закону синуса. Определить частоту  $\omega$  рез, при которой возникает резонанс. Найти также максимальные значения тока и напряжения на всех элементах цепи при резонансе, если максимальное значение ЭДС  $\varepsilon_0 = 30$  В.

#### Решение.

Под действием переменной ЭДС в данной цепи, представляющей собой колебательный контур, установятся вынужденные электромагнитные колебания. При этом амплитудные значения тока  $J_0$  и ЭДС  $\varepsilon_0$  связаны соотношением

$$J_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{k^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (1),$$

где  $\omega$  – частота вынуждающей ЭДС.

Максимальному току при резонансе соответствует такое значение частоты внешней ЭДС, при котором выражение, стоящее в скобках, обратиться в нуль.

Тогда резонансная частота

$$\omega = \omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 1,0 \cdot 10^5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

При этом сила тока равна

$$J_{\text{рез}} = -\frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2}} = \frac{\varepsilon_0}{R} = 1,5 \text{ А.}$$

Найдем значения максимального напряжения на элементах контура

$$U_R = J_{\text{рез}} R = \varepsilon = 30 \text{ В}$$

$$U_L = J_{\text{рез}} \omega L = \frac{\varepsilon L \omega}{R} = 150 \text{ В}$$

$$U_C = J_{\text{рез}} \frac{1}{\omega C} = U_L = 150 \text{ В}$$

Максимальные значения напряжения и тока не реактивных элементах равны друг другу при последовательном резонансе (резонансе напряжений).

**Таблица вариантов к теме 10**

<b>№ варианта</b>	<b>Номера задач</b>			<b>№ варианта</b>	<b>Номера задач</b>			<b>Задачи для сам. работы</b>
<b>1</b>	1	51	101	<b>26</b>	26	76	126	55
<b>2</b>	2	52	102	<b>27</b>	27	77	127	109
<b>3</b>	3	53	103	<b>28</b>	28	78	128	19
<b>4</b>	4	54	104	<b>29</b>	29	79	129	52
<b>5</b>	5	55	105	<b>30</b>	30	80	130	53
<b>6</b>	6	56	106	<b>31</b>	31	81	131	67
<b>7</b>	7	57	107	<b>32</b>	32	82	132	83
<b>8</b>	8	58	108	<b>33</b>	33	83	133	102
<b>9</b>	9	59	109	<b>34</b>	34	84	134	103
<b>10</b>	10	60	110	<b>35</b>	35	85	135	105
<b>11</b>	11	61	111	<b>36</b>	36	86	136	106
<b>12</b>	12	62	112	<b>37</b>	37	87	137	148
<b>13</b>	13	63	113	<b>38</b>	38	88	138	130
<b>14</b>	14	64	114	<b>39</b>	39	89	139	135
<b>15</b>	15	65	115	<b>40</b>	40	90	140	149
<b>16</b>	16	66	116	<b>41</b>	41	91	141	150
<b>17</b>	17	67	117	<b>42</b>	42	92	142	151
<b>18</b>	18	68	118	<b>43</b>	43	93	143	152
<b>19</b>	19	69	119	<b>44</b>	44	94	144	153
<b>20</b>	20	70	120	<b>45</b>	45	95	145	154
<b>21</b>	21	71	121	<b>46</b>	46	96	146	155
<b>22</b>	22	72	122	<b>47</b>	47	97	147	156
<b>23</b>	23	73	123	<b>48</b>	48	98	148	157
<b>24</b>	24	74	124	<b>49</b>	49	99	149	158
<b>25</b>	25	75	125	<b>50</b>	50	100	150	159

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Уравнение затухающих колебаний точки массой  $m = 0,09$  кг  $x = 0,08e^{-0,06t} \cos \frac{\pi}{3}t$  (м). Найти потенциальную энергию колеблющейся точки спустя  $n = 3$  полных колебания.

2. Уравнение затухающих колебаний точки  $x = 0,09e^{-0,1t} \cos \frac{\pi}{8}t$  (м). Определить время, за которое энергия колебаний уменьшится в 120 раз.

3. Три последовательные крайние положения качающейся стрелки весов пришлись против делений 20; 5,5; 13. Найти логарифмический декремент затухания; найти также деление, соответствующее положению равновесия стрелки.

4. Амплитуда затухающих колебаний маятника за время  $t_1 = 5$  мин уменьшилась в  $n_1 = 2$  раза. За какое время  $t_2$ , считая от начального момента, амплитуда уменьшилась в  $n_2 = 8$  раз?

5. Найти период  $T$  затухающих колебаний, если период его собственных колебаний системы равен 1с и логарифмический декремент  $\delta = 0,628$ .

6. Тело массой  $m = 0,01$  кг подвешено на легкой спиральной пружине с коэффициентом жесткости  $k = 25$  Н/м и опущено в жидкость. После излучения импульса в вертикальном направлении тело начало колебаться. Логарифмический декремент  $\delta = 0,004$ . Через какое число колебаний амплитуда уменьшится в 2 раза? Через какое время амплитуда колебаний уменьшится в 2 раза?

7. Найти число  $N$  полных колебаний системы, в течение которых энергия системы уменьшится в  $n = 2$  раза, если логарифмический декремент  $\delta = 0,01$ .

8. Во сколько раз уменьшится полная энергия колебаний секундного маятника за  $\tau = 6$  минут, если логарифмический декремент  $\delta = 0,031$ ?

9. Через сколько времени энергия колебаний камертона уменьшится в  $n = 10^6$  раз, если логарифмический декремент  $\delta = 0,0008$ ? Частота колебаний камертона  $\nu = 600$  Гц.

10. Амплитуда затухающих колебаний в течение одного периода уменьшается в три раза. На сколько процентов период колебания становится больше, чем при отсутствии причины, вызывающей затухание?

11. Амплитуда затухающих колебаний в течение периода уменьшается в  $n = 2$  раза. При каком значении фазы максимально смещение? Максимальна скорость? Во сколько раз частота затухающих колебаний меньше частоты собственных колебаний системы?

12. Чему равен логарифмический декремент затухания маятника длиной  $l = 0,8$  м, если его начальная амплитуда  $A = 5^\circ$ , а через  $t = 5$  мин амплитуда равна  $A_t = 0,5^\circ$ ?

13. Определить период затухающих колебаний груза массой  $m = 2$  кг на пружине жесткостью  $k = 32$  Н/м, если за время, в течение которого совершилось  $N = 60$  колебаний, амплитуда уменьшилась в  $n = 2$  раза.

14. Определить период свободных колебаний груза на пружине, если масса груза

$m = 0,5$  кг, а жесткость пружины  $k = 32 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  при условии, что за время двух полных колебаний амплитуда их уменьшилась в  $n = 20$  раз.

15. Амплитуда колебаний материальной точки после  $N = 50$  колебаний уменьшилась в  $n = 3$  раза. Условный период колебаний точки  $T = 1$  с. Найти коэффициент затухания и время релаксации.

16. Найти частоту колебаний груза массой  $m = 0,20$  кг, подвешенного на пружине и помещенного в масло, если коэффициент трения в масле  $r = 0,50$  кг/с, а жесткость пружины  $k = 50$  Н/м.

17. После  $N = 16$  полных колебаний точки её амплитуда уменьшилась от  $A_1 = 20$  см до  $A_2 = 4$  см. Коэффициент затухания  $\beta = 0,1$ . Получите закон  $X(t)$  движения точки.

18. Уравнение  $x = 0,3e^{-0,2t} \cos 5t$  см описывает смещение колеблющейся материальной точки. Определите моменты времени, в которые смещение максимально; путь, пройденный материальной точкой до остановки; добротность колебательной системы.

19. Предположим, что опыт Фуко решили проделать на полюсе с математическим маятником длиной  $l = 9,8$  м. Во время опыта хотят заметить поворот плоскости колебаний маятника на  $4^\circ$ , при уменьшении амплитуды колебаний в  $n = 2$  раза. Определите добротность маятника, пригодного для этого опыта. Во сколько раз уменьшится амплитуда колебаний маятника через час после начала опыта?

20. Тело массой  $m = 0,01$  кг, совершающее свободные колебания с частотой  $\omega_0 = 100$  с<sup>-1</sup>, перенесено в среду с большим коэффициентом затухания, в результате чего амплитуда за период уменьшилась в

$n = 4$  раза. Определить, на сколько процентов частота свободных колебаний больше, чем затухающих, и коэффициент сопротивления среды.

21. За  $t_1 = 10$  с амплитуда свободных колебаний уменьшается в  $n_1 = 10$  раз. За какое время  $\tau$  амплитуда уменьшится в  $n_2 = 100$  раз?

22. За  $t = 1,00$  с амплитуда свободных колебаний уменьшается в  $n_1 = 2$  раза. В течение, какого промежутка времени  $\tau$  амплитуда уменьшится в  $n_2 = 10$  раз?

23. За время  $t_1 = 16,1$  с амплитуда колебания уменьшается в  $n = 5,00$  раз.

а) Найти коэффициент затухания колебаний

б) За какое время  $t_2$  амплитуда уменьшится в "e" раз?

24. За  $t = 100$  с система успевает совершить 100 колебаний. За то же время амплитуда колебаний уменьшается в 2,718 раз. Чему равны:

а) коэффициент затухания колебаний  $\beta$ ,

б) добротность системы  $Q$ .

25. За время, в течение которого система совершает  $N = 100$  колебаний, амплитуда уменьшается в  $n = 5,00$  раз. Найти добротность системы  $Q$ .

26. Добротность некоторой колебательной системы  $Q = 2,00$ ; частота свободных колебаний  $\omega = 100$  с<sup>-1</sup>. Определить собственную частоту колебаний системы  $\omega_0$

27. Чему равен логарифмический декремент колебаний, если за  $t = 100$  с система совершает  $N = 100$  колебаний, и при этом амплитуда их уменьшается в "e" раз.

28. Амплитуда колебаний материальной точки после  $N = 100$  колебаний уменьшилась в  $n = 3$  раза. Определить логарифмический декремент затухания и добротность колебательной системы.

29. Тело массой  $m = 1$  г совершает затухающие колебания с частотой  $\omega = 3,14$  с<sup>-1</sup>. В течение  $\tau = 50$  с тело потеряло 80% своей энергии. Определить коэффициент затухания, коэффициент сопротивления среды и добротность системы.

30. Амплитуда колебаний материальной точки после  $N = 30$  колебаний уменьшилась в  $n = 7$  раз. Определить логарифмический декремент затухания и добротность колебательной системы.

31. Материальная точка совершает затухающие колебания с начальной амплитудой  $A_0 = 8$  см. Через  $t_1 = 2$  мин. после начала колебаний амплитуда уменьшилась до  $A_1 = 4$  см. За какое время от начала колебаний амплитуда уменьшается до  $A_2 = 6$  см?

32. Найти время  $\tau$ , в течение которого энергия колебаний камертона с частотой  $\omega = 440$  Гц уменьшится в  $n = 10^6$  раз, если логарифмический декремент затухания  $\delta = 10^{-3}$ .

33. Шарик, подвешенный на нити длиной  $l = 24,7$  см, совершает затухающие колебания с логарифмическим декрементом затухания

$\delta = 0,01$ . Через сколько времени энергия колебаний шарика уменьшится в  $n = 9,4$  раза?

34. После десяти полных колебаний точки её амплитуда уменьшилась от  $A_1 = 10$  см до  $A_2 = 6$  см. Коэффициент затухания  $\beta = 0,2$  с<sup>-1</sup>. Написать уравнение зависимости смещения от времени.

35. Начальная амплитуда колебаний маятника  $A_0 = 20$  см, амплитуда после десяти полных колебаний уменьшилась до  $A = 1$  см. Найти логарифмический декремент и записать уравнение колебаний, если период колебаний  $T = 5$  с.

36. На пружине с жесткостью  $k = 10 \cdot 10^2$  Н/м висит шарообразный медный груз радиусом  $R = 30$  см, опущенный в прованское масло. Определить собственную частоту колебательной системы, её добротность и время, в течение которого колебания практически затухают.

37. Математический маятник колеблется в среде, для которой логарифмический декремент затухания  $\delta_1 = 1,5$ . Каков будет логарифмический декремент  $\delta_2$ , если сопротивление среды увеличить в  $n = 2$  раза?

38. К вертикальной спиральной пружине подвешен стальной шарик радиусом  $R = 10^{-2}$ . Циклическая частота его колебаний в воздухе  $\omega_0 = 5$  с<sup>-1</sup>, а в некоторой жидкости  $\omega = 4,06$  с<sup>-1</sup>. Начальное смещение равно амплитуде колебаний в жидкости  $A = 5$  см. Найти уравнение смещения шарика и коэффициент вязкости.

39. Найти логарифмический декремент колебаний математического маятника длиной  $l = 0,5$  м, если за промежуток времени  $\tau = 5$  мин, его полная механическая энергия уменьшилась в  $n = 4 \cdot 10^4$  раз.

40. Амплитуда колебаний камертона за  $\tau = 1,5$  с уменьшилась в  $n = 100$  раз. Найти коэффициент затухания.

41. Затухающие колебания описываются уравнением  $x = A_0 e^{-\beta t} \sin(\omega t + \frac{\pi}{4})$  см, где  $A_1 = 10$  см,  $\beta = 2,8 \text{ с}^{-1}$ ,  $\omega = 5,5 \text{ с}^{-1}$ . Найти скорость в момент времени  $t = 0,7$  с, логарифмический декремент  $\delta$  и добротность колебательной системы.

42. Период затухающих колебаний  $T = 4$  с, логарифмический декремент  $\delta = 1,6$ , начальная фаза  $\varphi_0 = 0$ . Смещение точки при  $t = T/4$  равно 4,5 см. Написать уравнение движения этого колебания. Найти также смещение в момент  $t = 0$ .

43. Уравнение затухающих колебаний даётся в виде  $x = 5e(-0,25) \sin \pi/2 t$  (м). Найти скорость колеблющейся точки в моменты времени  $t = 0, T, 2T, 3T$ .

44. Тело массой  $m = 5$  г совершает затухающие колебания. В течение  $\tau = 50$  с тело потеряло 60 % своей энергии. Определить коэффициент сопротивления среды.

45. Амплитуда затухающих колебаний математического маятника за время  $t_1$  уменьшается в  $n$  раз. Длина маятника  $l$ .

А) Чему равен логарифмический декремент затухания  $\delta$ ?

Б) За какое время  $t_2$ , отсчитываемое после начала наблюдений, амплитуда уменьшится ещё в  $n$  раз?

В) Сколько полных колебаний сделает при этом маятник?

Г) Через сколько времени энергия маятника уменьшится в  $n$  раз?

46. Начальная амплитуда колебаний маятника  $A_0 = 3$  см. Через  $t_1 = 10$  с она равна  $A_1 = 1$  см. Через сколько времени амплитуда колебаний будет равна  $A_2 = 0,3$  см?

47. Найти частоту колебаний груза массой  $m = 0,2$  кг, подвешенного на пружине и помещенного в масло, если коэффициент трения в масле  $r = 0,5$  кг/с, а коэффициент упругости пружины  $k = 50$  Н/м.

48. При затухающих колебаниях материальной точки амплитуда в начальный момент  $A_0 = 2$  см, а через  $t_1 = 4$  с амплитуда  $A_1 = 0,7$  см. Через сколько времени амплитуда колебаний станет  $A_2 = 0,4$  см? Через какое время энергия колебаний уменьшится в  $n = 10^4$  раз?

49. Энергия затухающих колебаний маятника, происходящих в некоторой среде, за время  $t = 2$  мин уменьшилось в  $n = 100$  раз. Определить коэффициент сопротивления среды, если масса маятника  $m = 0,1$  кг.

50. Математический маятник длиной  $l = 1,2$  м колеблется в среде с малым сопротивлением. Считая, что сопротивление среды влияет на период колебаний, найти коэффициент затухания и логарифмический декремент, если  $t = 8$  мин амплитуда колебаний маятника уменьшилась в  $n = 3$  раза.

51. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 4 \cdot 10^{-9}$  Гн, конденсатора емкостью  $C = 2 \cdot 10^{-9}$  Ф и сопротивления



$R = 2 \text{ Ом}$ . В начальный момент напряжение на обкладках максимально и равно  $U_0 = 0,5 \text{ В}$ . Напишите (с числовыми коэффициентами) уравнение зависимости заряда на обкладках конденсатора от времени.

52\*. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 2,2 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$  и катушки из медной проволоки диаметром  $d = 0,5 \text{ мм}$ . Длина катушки  $l = 20 \text{ см}$ . Найти логарифмический декремент колебаний.

53. Колебательный контур имеет емкость  $C = 1,1 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$  и индуктивность

$L = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ . Логарифмический декремент затухания равен  $\delta = 0,005$ . За сколько времени потеряется вследствие затухания 99% энергии контура ?

54. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 10^{-3} \text{ Гн}$ , конденсатора емкостью  $C = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$  и сопротивлением  $R = 4 \text{ Ом}$ . Во сколько раз уменьшится разность потенциалов на обкладках конденсатора за время одного периода ?

55. Определить индуктивность контура, активное сопротивление  $R = 28 \text{ Ом}$ , если через время  $t = 0,1 \text{ с}$  амплитудное значение разности потенциалов уменьшилось в  $n = 4$  раза.

56. Чему равно сопротивление контура, если разность потенциалов на обкладках за время одного периода уменьшилась в  $n = 3$  раза? Емкость конденсатора  $C = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$ , индуктивность  $L = 0,1 \text{ Гн}$ .

57. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 27 \text{ мкФ}$ , катушки индуктивностью  $L = 0,18 \text{ Гн}$  и сопротивлением  $R = 24 \text{ Ом}$ . Найти период колебаний контура и его логарифмический декремент.

58. Конденсатор емкостью  $C = 500 \text{ пФ}$  соединен параллельно с катушкой длиной  $l = 40 \text{ см}$  и сечением  $S = 5 \text{ см}^2$ , содержащий  $N = 1000$  витков. Найти период колебаний.

59. Катушка индуктивностью  $L = 1 \text{ мГн}$  и воздушный конденсатор, состояли из двух круглых пластин диаметром  $D = 20 \text{ см}$  каждая, соединены параллельно. Расстояние между пластинами  $d = 1 \text{ см}$ . Определить период  $T$  колебаний.

60. Колебательный контур содержит конденсатор емкостью  $C = 8 \text{ пФ}$  и катушку индуктивностью  $L = 0,5 \text{ мГн}$ . Каково максимальное значение напряжения  $U_0$  на обкладках конденсатора, если максимальная сила тока  $I_0 = 40 \text{ мА}$ ?

61. Колебательный контур имеет индуктивность  $L = 1,6 \text{ мГн}$ , емкость  $C = 0,04 \text{ мкФ}$  и максимальное зарядение на зажимах  $U_0 = 200 \text{ В}$ . Чему равна максимальная сила тока  $I_0$  в контуре, если сопротивление ничтожно мало?

62. Какую индуктивность надо включить в колебательный контур, чтобы при емкости  $C = 2 \text{ мкФ}$  получить звуковую частоту  $\nu = 1000 \text{ с}^{-1}$ ? Сопротивлением контура пренебречь.

63. Колебательный контур содержит конденсатор емкостью  $C = 0,025 \text{ мкФ}$  и катушку индуктивностью  $L = 1,015 \text{ Гн}$ . Заряд на

обкладках, конденсатора  $Q = 2,5 \cdot 10^{-6}$  Кл. Найти значения силы тока и разности потенциалов, для моментов  $t_1 = T/2$  и  $t_2 = T/8$ .

64. Колебательный контур состоит из конденсатора с емкостью  $C = 100$  пФ и катушки с индуктивностью  $L = 64$  мкГн а сопротивлением  $R = 1,0$  Ом. Определить собственную частоту колебаний, период колебания, добротность контура.

65. В колебательной контуре с сопротивлением  $R = 1$  Ом в начальный момент напряжение на обкладках конденсатора  $U_0 = 10$  В. Рассчитайте емкость конденсатора и индуктивность катушки, при которых запас энергии конденсатора, будет убывать со временем по закону:  $W = Ae^{-bt}$  Дж, где  $A = 2 \cdot 10^{-5}$  Дж,  $b = 500$  с $^{-1}$

66. Колебательный контур имеет емкость  $C = 10^{-9}$  Ф и индуктивность  $L = 4 \cdot 10^{-3}$  Гн. Логарифмический декремент затухания равен  $\delta = 0,005$ . Определите время, в течение которого энергия, запасенная в контуре, уменьшается в  $n = 100$  раз.

67. Напряжение на обкладках конденсатора в колебательном контуре меняется с течением времени по закону:  $U = 3,5 e^{-7 \cdot 10^5} \cdot \cos 3,16 \cdot 10^4 t$  Вольт. В начальный момент заряд на обкладках конденсатора равен  $Q_0 = 7 \cdot 10^{-7}$  Кл. Определите параметры контура.

68. Определите отношение энергии магнитного поля колебательного контура к энергии его электрического поля для момента времени, равного  $1/8$  периода. Начальная фаза колебаний равна нулю. Сопротивлением контура пренебречь.

69. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 10 - 3$  Гн, конденсатора емкостью  $C = 1$  мкФ и сопротивления  $R = 30$  Ом. Определите логарифмический декремент затухания колебаний в контуре.

70. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 0,23$  Гн, конденсатора емкости  $C = 7$  мкФ и сопротивления  $R = 40$  Ом. Определите период колебаний в контуре. Сколько процентов составит ошибка, если расчет выполнить по формуле Томсона?

71. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 0,23$  Гн, конденсатора емкостью  $C = 7$  мкФ и сопротивления  $R = 40$  Ом. Конденсатор заряжен количеством электричества  $Q = 5,5 \cdot 10^{-4}$  Кл. Напишите уравнение (с числовым коэффициентом) зависимости напряжения на обкладках конденсатора от времени,

72. Соленоид длиной  $l = 25$  см и сечением  $S = 10$  см $^2$  имеющий 300 витков, соединен параллельно с плоским конденсатором, площадь пластин которого  $S = 0,045$  м $^2$ , расстояние между ними  $d = 0,1$  мм, диэлектрик - парафиновая бумага. Определите период собственных колебаний контура, пренебрегая его сопротивлением.

73. Катушка индуктивностью  $L = 12$  мГн и воздушный конденсатор, состоящий из двух круглых пластин диаметром  $D = 15$  см каждая, соединены параллельно. Расстояние между пластинами равно  $d = 2$  см. Определить период  $T$  колебаний.

74. Конденсатор электроёмкостью  $C = 500$  пФ соединен параллельно с катушкой длиной  $l = 40$  см и площадью сечения, равной  $S = 5$  см<sup>2</sup>. Катушка содержит  $N = 1000$  витков. Сердечник немагнитный. Найти период  $T$  колебаний.

75. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 20$  мкГн и конденсатора электроёмкостью  $C = 80$  пФ величина ёмкости может отклоняться от указанного значения на 2%. Вычислить, в каких пределах может изменяться длина волны, на которую резонирует контур.

76. Колебательный контур имеет индуктивность  $L = 1,6$  мГн, электроёмкость  $C = 0,04$  мкФ и максимальное напряжение на зажимах, равное  $U_0 = 200$  В. Определить максимальную силу тока  $I_0$  в контуре. Сопротивление контура ничтожно мало.

77. Колебательный контур содержит конденсатор электроёмкостью  $C = 8$  пФ и катушку индуктивностью  $L = 0,5$  мГн. Каково максимальное напряжение  $U_0$  на обкладках конденсатора, если максимальная сила тока  $I_0 = 40$  мА?

78. Катушка (без сердечника) длиной  $l = 50$  см и площадью  $S_0$ , сечения, равной  $3$  см<sup>2</sup>, имеет  $N = 1000$  витков и соединена параллельно с конденсатором. Конденсатор состоит из двух пластин площадью  $S = 75$  см<sup>2</sup> каждая. Расстояние между пластинами равно  $d = 5$  мм. Диэлектрик – воздух. Определить период  $T$  колебаний контура.

79. Колебательный контур состоит из параллельно соединенных конденсатора электроёмкостью  $C = 1$  мкФ и катушки индуктивностью  $L = 1$  мГн. Сопротивление контура ничтожно мало. Найти частоту колебаний.

80. Найти ёмкость контура, если уравнение изменения силы тока в колебательном контуре со временем дается в виде:  $I = -0,02 \sin 400\pi t$  А. Индуктивность контура  $L = 1$  Гн. Чему равна максимальная разность потенциалов на обкладках?

81. Колебательный контур состоит из конденсатора  $C = 5$  мкФ и катушки  $L = 0,2$  Гн. Определить максимальную силу тока в контуре, если максимальная разность потенциалов на обкладках  $90$  В. Напишите закон изменения тока в контуре.

82. Колебательный контур с ёмкостью  $C = 10^{-9}$  Ф настроен на частоту  $10^3$  кГц, При колебаниях максимальное напряжение на обкладках  $U_0 = 100$  В. Пренебрегая активным сопротивлением, найдите: а) максимальный ток в контуре б) энергию магнитного поля катушки и конденсатора через  $1/8$  периода от момента начала колебаний.

83. Катушка без сердечника длиной  $l = 40$  см, сечением  $S_0 = 9,55$  см<sup>2</sup>, содержащая  $N = 100$  витков присоединена к плоскому конденсатору с площадью пластин  $S = 100$  см<sup>2</sup> и расстоянием между ними  $d = 0,1$  мм. Определите диэлектрическую проницаемость среды, занимающей пространство между пластинами конденсатора, если контур резонирует на волну длиной  $\lambda = 750$  м.

84. Уравнение изменения тока в колебательном контуре со временем имеет вид:  $I = 0,02 \sin 400\pi t$  А. Индуктивность контура  $L = 1$  Гн . Определите ёмкость контура и максимальные значения энергии магнитного и электрического полей.

85. Уравнение изменения со временем разности потенциалов на обкладках конденсатора в колебательном контуре имеет вид:  $U = 50 \cos 10^4 \pi t$  В . Емкость конденсатора  $C = 10^{-7}$  Ф . Определите индуктивность контура и длину волны, на которую он настроен. Запишите уравнение изменения тока в контуре со временем.

86. Определить активное сопротивление колебательного контура, индуктивность которого  $L = 1$  Гн , если через  $t = 0,1$  с амплитудное значение разности потенциалов на обкладках конденсатора уменьшилось в  $n = 4$  раза.

87. Заряженный конденсатор емкостью  $C = 0,5$  мкФ подключили к катушке индуктивностью  $L = 5$  мГн. Через сколько времени от момента подключения катушки энергия электрического поля конденсатора станет равной энергии магнитного поля катушки?

88. Как изменится логарифмический декремент, если, не меняя длины катушки в контуре, увеличить число витков в ней в “ $n$ ” раз, а диаметр витков не менять?

89. Определить логарифмический декремент колебаний контура с емкостью  $C = 0,2 \cdot 10^{-8}$  Ф и индуктивностью  $L = 15 \cdot 10^{-4}$  Гн , если на поддержание в нем незатухающих колебаний с максимальным напряжением  $U_0 = 0,9$  В требуется мощность  $P = 10$  мкВт.

90. В контуре, состоящем из конденсатора емкостью  $C = 10$  мкФ и катушки индуктивностью  $L = 1$  мГн, конденсатор заряжен до максимального напряжения  $U_0 = 100$  В. Определить максимальный заряд конденсатора  $C$ , максимальный ток в контуре; записать уравнение для определения мгновенного значения тока.

91. Заряд на обкладках конденсатора в контуре изменяется по закону  $Q = 10^{-2} \cos(2\pi t + \pi)$  Кл. Найти частоту, период колебаний, максимальный ток в контуре.

92. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности  $L = 0,2$  мГн и двух конденсаторов  $C_1 = C_2 = 4$  мкФ , соединенных последовательно. Определить период собственных колебаний в контуре, максимальный заряд конденсаторов, максимальное напряжение на каждом, если максимальный ток в контуре  $I_0 = 0,1$  А.

93. В колебательном контуре конденсатору с емкостью  $C = 10$  мкФ сообщили заряд  $Q = 10^{-3}$  Кл , после чего возникли затухающие электромагнитные колебания. Сколько тепла выделится к моменту, когда максимальное напряжение на конденсаторе станет меньше начального максимального напряжения в  $n = 4$  раза?

94. Напряжение на обкладках конденсатора изменяется по закону  $U = 220 \sin(314t - \frac{\pi}{2})$  В . Записать уравнение для мгновенного значения тока в контуре, если емкость конденсатора  $C = 2 \cdot 10^{-5}$  Ф. Найти сдвиг фаз

между током и напряжением на конденсаторе. Чему равняется запасенная энергия? Чему равна магнитная энергия в момент  $t_1 = T/2$ ;  $t_2 = T/4$ ?

95. В колебательном контуре с индуктивностью  $L = 0,4$  Гн и емкостью  $C = 2 \cdot 10^{-5}$  Ф амплитудное значение тока  $I_0 = 0,1$  А, Каким будет напряжение на конденсаторе в тот момент, когда энергии электрического и магнитного полей будут равны?

96. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 2,22 \cdot 10^{-9}$  Ф и катушки (без сердечника), намотанной из медной проволоки диаметром  $D = 0,5$  мм. Длина катушки  $L = 20$  см. Найти логарифмический декремент затухания колебаний.

97. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 2 \cdot 10^{-8}$  Ф и катушки индуктивностью  $L = 5 \cdot 10^{-3}$  Гн. Через  $t = 10^{-3}$  с амплитудное значение разности потенциалов уменьшилось в  $n = 3$  раза. Найти период собственных колебаний и сопротивление контура.

98. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 0,2$  мкФ и катушки, индуктивность которой  $L = 5,07 \cdot 10^{-3}$  Г. При каком логарифмическом декременте затухания разность потенциалов на обкладках конденсатора через  $t = 10^{-3}$  с колебаний уменьшится в  $n = 3$  раза?

99. Определить активное сопротивление колебательного контура индуктивностью  $L = 1$  Гн, если через  $t = 0,1$  с значение максимальной разности потенциалов на обкладках уменьшилось в  $n = 5$  раз?

100. Найти период колебаний и логарифмический декремент затухания для контура, состоящего из конденсатора емкостью  $C = 0,710^{-5}$  Ф, катушки  $L = 23 \cdot 10^{-2}$  Гн и сопротивлением  $R = 40$  Ом, если заряд конденсатора.  $Q = 5,6 \cdot 10^{-4}$  Кл

101. Груз массой  $m = 0,5$  кг, подвешенный на пружине, помещен в масло. Коэффициент жесткости пружины  $k = 0,098$  Н/см, коэффициент сопротивления в масле  $r = 0,80$  кг/с. На груз действует вынуждающая сила, меняющаяся гармонически с амплитудой  $F_0 = 0,98$  Н. Определите частоту вынуждающей силы и амплитуду колебаний груза при резонансе.

102. Гирька массой  $m = 0,10$  кг подвешена к пружине, которая под действием силы  $F = 0,40$  Н растягивается на  $\Delta x = 1,0$  см. Период затухающих колебаний гирьки  $T = 0,37$  с, логарифмический декремент затухания  $\delta = 0,7$ . На гирьку начинает действовать сила, меняющаяся гармонически, с амплитудой  $F_0 = 2,0$  Н. Запишите уравнение вынуждающей силы и установившихся вынужденных колебаний при резонансе.

103. Однородный намагниченный стержень, с горизонтальной осью вращения, проходящей через конец стержня, имеет массу  $m = 60$  г, длину  $l = 10$  см и магнитный момент  $P_m = 4,9$  А · М<sup>2</sup>. Период гармонических колебаний стержня в однородном вертикальном магнитном поле в  $n = 2$  раза меньше периода его собственных колебаний при отсутствии магнитного поля. Определите индукцию магнитного поля.

104. В контуре, состоящем из катушки и конденсатора, создаются вынужденные колебания. Если емкость изменить на  $\Delta C = 0,01$  емкости,

соответствующей максимуму колебаний, то сила тока в контуре убывает в  $n = 1,5$  раза. Определить логарифмический декремент колебаний системы.

105. Между обкладками плоского конденсатора на двух изолированных пружинах укреплен стеклянный шарик массой  $m = 0,01$  г с зарядом  $Q = 3,6 \cdot 10^{-6}$  Кл. К обкладкам подводится переменное напряжение с частотой  $\nu = 50$  Гц и амплитудой  $U_0 = 3,0 \cdot 10^3$  В. Определите амплитуду вынужденных колебаний шарика, если коэффициент жесткости, каждой пружины  $k = 0,98$  Н/см и расстояние между пластинами  $d = 5,0$  см. Силами сопротивления пренебречь.

106. Под действием внешней силы, меняющейся по закону косинуса, в системе совершаются установившиеся вынужденные колебания, описываемые уравнением  $x = 0,8 \cos(2\pi t - \frac{\pi}{6})$  м. Запишите уравнение изменения вынуждающей силы со временем с числовыми коэффициентами, зная, что за период эта сила совершает работу, равную  $A = 1,88$  Дж, Начальная фаза вынуждающей силы равна нулю, среднее значение квадрата косинуса за период равно  $1/2$ .

107. На пружине с жесткостью  $k = 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  висит железный шарик массой  $m = 0,8$  кг. Со стороны переменного магнитного поля на шарик действует синусоидальная сила, амплитудное значение которой равно  $F_0 = 2,0$  Н. Добротность системы равна  $Q = 30$ . Определить амплитуду вынужденных колебаний в случаях, если  $\omega = \frac{\omega_0}{2}$ ;  $\omega = \omega_0$ ;  $\omega = 2\omega_0$ .

108. Груз массой  $m = 0,5$  кг подвесили на пружине, которая при этом растянулась на  $\Delta x = 5$  мм. Когда систему вывели из состояния равновесия и отпустили, она совершала свободные колебания в течение  $t = 3,5$  с. Найти резонансную амплитуду для этой системы. Что произойдет при резонансе?

109. В схеме, изображенной на рис.10.1 ёмкость равна  $C = 20$  мкФ, индуктивность  $L = 0,2$  Гн и активное сопротивление  $R = 5$  Ом. Какую мощность потребляет эта цепь, если на зажимы подано напряжение  $U = 312 \cos 314 t$ ?

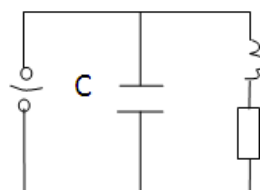


Рис. 10.1

110. Определить амплитуду вынужденных колебаний груза на пружине, если при коэффициенте жесткости  $k = 20$  Н/м, масса  $m = 0,2$  кг, на него действует вынуждающая сила с амплитудой  $F_0 = 2$  Н и частотой, в два раза большей собственной частоты колебаний груза, а коэффициент затухания  $\beta = 0,5$  с<sup>-1</sup>.

111. В цепи, состоящей из сопротивления  $R = 1$  кОм, индуктивности  $L = 30$  мГн и конденсатора переменной емкости действует синусоидальная ЭДС с действующим значением  $U_{\text{Э}} = 60$  В и частотой  $\nu = 50$  кГц. Найти емкость конденсатора, при которой наступает резонанс, и действующее значение тока при резонансе.

112. Амплитуда смещения вынужденных колебаний груза при очень малой частоте вынуждающей силы  $A = 2$  мм, а при резонансе  $A_{\text{рез}} = 32$  мм. Коэффициент затухания  $\beta \ll 1$ . Найти добротность колебательной системы и логарифмический декремент колебаний.

113. Определить, на сколько резонансная частота отличается от частоты  $\nu_0 = 1$  кГц собственных колебаний системы, характеризуемой коэффициентом затухания  $\beta = 400 \text{ с}^{-1}$ .

114. Во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний меньше резонансной амплитуды, если период изменения вынуждающей силы будет больше резонансного в  $n = 2$  раза? Коэффициент затухания  $\beta = 0,2 \text{ То}$ .

115. Под действием силы тяжести электродвигателя консольная балка, на которой он установлен, прогнулась на  $\Delta l = 1 \text{ мм}$ . При какой частоте вращения  $\nu$  якоря электродвигателя может возникнуть опасность резонанса?

116. Вагон массой  $m = 80 \text{ т}$  имеет четыре рессоры, жесткость  $k$  пружины каждой рессоры равна  $500 \text{ кН/м}$ . При какой скорости  $v$  вагон начнет сильно раскачиваться вследствие толчков на стыках рельс, если длина рельса равна  $l = 12,8 \text{ м}$ ?

117. Колебательная система совершает затухающие колебания с частотой  $\nu = 1000 \text{ Гц}$ . Определить частоту  $\nu_0$  собственных колебаний, если резонансная частота  $\nu_{\text{рез}} = 998 \text{ Гц}$ .

118. Определить, на сколько резонансная частота отличается от частоты  $\nu_0 = 1$  кГц собственных колебаний системы, характеризуемой коэффициентом затухания  $\beta = 400 \text{ с}^{-1}$ .

119. Определить логарифмический декремент колебаний колебательной системы, для которой резонанс наблюдается при частоте, меньшей собственной частоты  $\nu_0 = 10 \text{ кГц}$  на  $\Delta \nu = 2 \text{ Гц}$ .

120. Период  $T_0$  собственных колебаний пружинного маятника равен  $0,55 \text{ с}$ . В вязкой среде период  $T$  того же маятника стал равным  $0,56 \text{ с}$ . Определить резонансную частоту  $\nu_{\text{рез}}$  колебаний.

121. Тело совершает вынужденные колебания в среде с коэффициентом сопротивления  $r = 1 \text{ г/с}$ . Считая затухание малым определить амплитудное значение вынуждающей силы, если резонансная амплитуда  $A_{\text{рез}} = 0,5 \text{ см}$  и частота собственных колебаний  $\nu_0 = 10 \text{ Гц}$ .

122. Амплитуду вынужденных гармонических колебаний при частоте  $\nu_1 = 100 \text{ Гц}$  и  $\nu_2 = 600 \text{ Гц}$  равны между собой. Определить резонансную частоту  $\nu_{\text{рез}}$ , Затуханием пренебречь.

123. К спиральной пружине жесткостью  $k = 10 \text{ Н/м}$  подвесили грузик массой  $m = 10 \text{ г}$  и погрузили всю систему в вязкую среду. Приняв коэффициент сопротивления равным  $r = 0,1 \text{ кГ/с}$ . определить : 1) частоту  $\nu_0$  собственных колебаний; 2) резонансную частоту  $\nu_{\text{рез}}$ ; 3) резонансную амплитуду  $A_{\text{рез}}$ , если вынуждающая сила изменяется по гармоническому закону, а её амплитудное значение  $F_0 = 0,02 \text{ Н}$ ; 4) отношение резонансной амплитуды к статическому смещению под действие системы  $F_0$ .

124. Во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний будет меньше резонансной амплитуды, если частота изменения вынуждающей силы будет больше резонансной частоты: 1) на  $10\%$ ? 2) в два раза? Коэффициент затухания  $\beta$  в обоих случаях принять равным  $0,1 \omega_0$  ( $\omega_0$ - круговая частота собственных колебаний).

125. Параметры колебательного контура имеют значения:  $C = 4,00 \text{ мкФ}$ ,  $L = 0,100 \text{ мГн}$ ,  $R = 1,00 \text{ Ом}$ . Чему равна добротность контура  $Q$ ?

126. Под действием вынуждающей силы  $F_x = F_m \cos \omega t$  система совершает установившиеся колебания, описываемые функцией  $x = A \cos(\omega t - \varphi)$ . Найти работу  $A$  вынуждающей силы за период.

127. При неизменной амплитуде вынуждающей силы амплитуда вынужденных колебаний при частотах  $\omega_1 = 100 \text{ с}^{-1}$  и  $\omega_2 = 200 \text{ с}^{-1}$  оказывается одинаковой. Найти резонансную частоту  $\omega_{\text{рез}}$ .

128. При неизменной амплитуде вынуждающей силы амплитуда скорости при частотах  $\nu_1 = 100 \text{ с}^{-1}$  и  $\nu_2 = 300 \text{ с}^{-1}$  оказывается одинаковой. Найти частоту  $\nu_0$ , при которой амплитуда скорости максимальна.

129. Частота свободных колебаний некоторой системы  $\nu = 100,0 \text{ с}^{-1}$ , резонансная частота  $\nu_0 = 99,0 \text{ с}^{-1}$ . Определить добротность  $Q$  этой системы.

130. Железный стержень, подвешенный к пружине, будучи выведен из положения равновесия, совершает свободные колебания частоты  $\omega' = 20,0 \text{ с}^{-1}$ , причем амплитуда колебаний уменьшается в  $n = 2$  раза в течение времени  $t = 1,11 \text{ с}$ . Вблизи нижнего стержня помещена катушка, питаемая переменным током. При частоте тока  $\omega = 11,0 \text{ с}^{-1}$  стержень колеблется с амплитудой  $A = 1,50 \text{ мм}$ .

а) При какой частоте тока  $\omega_{\text{рез}}$  колебания стержня достигнут наибольшей интенсивности?

б) Какова будет амплитуда  $A_{\text{рез}}$  колебаний при этой частоте? Предполагается, что амплитуда вынуждающей силы неизменна. Учесть, что частота вынуждающей силы равна удвоенной частоте изменений тока в катушке.

131. Конденсатор, емкость которого  $C = 20 \text{ мкФ}$ , и реостат с активным сопротивлением  $R = 150 \text{ Ом}$ , включены последовательно в цепь переменного тока частотой  $\nu = 50 \text{ Гц}$ . Какую часть напряжения, приложенного к этой цепи, составляет падение напряжения на конденсаторе? на реостате?

132. В цепь переменного тока напряжением  $U = 220 \text{ В}$  и частотой  $\nu = 50 \text{ Гц}$  включены последовательно емкость  $C = 35,4 \text{ мкФ}$ , активное сопротивление  $R = 100 \text{ Ом}$  и индуктивность  $L = 0,7 \text{ Гн}$ . Найти силу тока и падение напряжения на емкости, омическом сопротивлении и индуктивности.

133. Как и какую индуктивность  $L$  и емкость  $C$  нужно подключить к сопротивлению  $R = 20 \text{ кОм}$ , чтобы ток через индуктивность  $I_L$  и ёмкость  $I_C$  был в 10 раз больше общего тока  $J$ ? Частота переменного питающего напряжения  $\nu = 50 \text{ Гц}$ .

134. Амплитуда смещения вынужденных колебаний тела при очень малой частоте вынуждающей силы  $A_0 = 12 \text{ мм}$ , а при резонансе  $A_{\text{рез}} = 64 \text{ мм}$ . Коэффициент затухания много меньше единицы. Определите добротность системы; логарифмический декремент затухания.

135. Тело массой  $m = 10 \text{ г}$  совершает затухающие колебания, описываемые уравнением  $x = 10e^{-6t} \cos 10,5\pi t$  с м. На тело начала



действовать внешняя периодическая сила, и колебания стали списываться уравнением  $x = 5 \cos(10\pi t + \varphi_0)$  см. Определите циклическую частоту свободных колебаний; разность фаз между действующей силой и смещением; уравнение внешней периодической силы.

136. Груз массой  $m = 0,1$  кг подвешен, на пружине с коэффициентом жесткости  $k = 10$  Н/м. На груз действует вынуждающая сила, описываемая уравнением  $F = 2 \cos 8t$  Н. Коэффициент затухания  $\beta = 0,5 \text{ с}^{-1}$ . Определите уравнение смещения установившихся вынужденных колебаний; время установления колебаний.

137. Под действием внешней силы  $F = F_m \cos \omega t$  материальная точка совершает вынужденные колебания, описываемые уравнением

$x = A \cos(\omega t + \varphi)$ . Определите работу силы за период колебания; работу силы за период колебания при  $\omega = \omega_0$  и при  $\omega_0 \ll \omega$ , если  $\omega_0$  - частота свободных колебаний материальной точки.

138. Материальная точка массой  $m = 0,1$  кг имеет период свободных колебаний  $T_0 = 0,5$  с. На тело действуют силы  $F_1 = 10^{-2} \cos \omega t$  и

$F_2 = -0,14x$  ( $x$  - смещение от положения равновесия). При этом наблюдается резонанс смещения. Определите частоту вынуждающей силы; уравнение смещения при резонансе, амплитуду силы сопротивления; добротность системы.

139. Амплитуды скорости при циклических частотах вынуждающей силы  $\omega_1 = 200 \text{ с}^{-1}$  и  $\omega_2 = 300 \text{ с}^{-1}$  равны между собой и равны половине максимальной скорости, наблюдаемой при резонансе. Считая, что амплитуда вынуждающей силы остается постоянной, определите частоту вынуждающей силы при резонансе скорости; коэффициент затухания; изменение резонансной скорости при уменьшении коэффициента затухания в  $n = 2$  раза.

140. Определить индуктивность катушки, при которой имеет место резонанс в цепи, представленной на рис. 10.2, если  $R = 30$  Ом,  $C = 1,2$  мкФ,  $\nu = 50$  Гц. При каком значении коэффициента индуктивности полное сопротивление цепи будет минимальным?

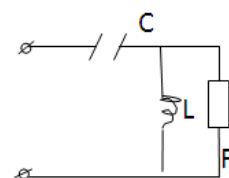


Рис.10.2

141. Ёмкость конденсатора колебательного контура

$C = 0,05$  мкФ. Какой должна быть индуктивность катушки контура, чтобы при циклической частоте  $\omega = 1000 \text{ с}^{-1}$  в цепи наступил электрический резонанс?

142. Тело движется под действием силы  $F = F_0 \cos \omega t$  по закону  $x = C \sin \omega t$ . Найти работу силы за время от  $t = t_0$  до  $t = t_{\text{кон}}$ . Найти работу силы за один период действия и среднюю мощность за тот же период.

143. На тело действует сила, изменяющаяся по закону  $F = A \cos \omega t$  ( $A$  и  $\omega$  – постоянные числа). Найти закон движения тела при условии, что при  $t = 0$   $x = 0$   $v = 0$ . Установить, что такое движение является колебательным. Определить период колебания, наибольшее значение смещения и наибольшее значение скорости.

144. Тело массой  $m$  движется под действием силы  $F = F_0 \cos \omega t$ . Найти выражение для кинетической энергии тела. Определить максимум кинетической энергии (при  $t = 0$ ,  $v = 0$ ).

145. Чему равна амплитуда вынужденных колебаний при резонансе  $A_{\text{рез}}$ , если при очень малой по сравнению с собственной частоте вынужденных колебаний она равна  $A_0 = 0,1$  см, а логарифмический декремент  $\delta = 0,01$ ?

146. Во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний системы меньше резонансной амплитуды, если частота изменения вынуждающей силы будет в  $n = 2$  раза больше резонансной? Коэффициент затухания  $\beta = 0,1 \omega_0$ .

147. В контуре, состоящем из последовательно соединенных резистора  $R = 10$  Ом, катушки индуктивностью  $L = 2$  мГн конденсатора емкостью  $C = 0,2$  мкФ, действует синусоидальная ЭДС. Найти частоту ЭДС при которой возникнет резонанс, а также действующее значение силы тока при резонансе, если действующее значение ЭДС равно 20 В.

148. В цепи, состоящей из последовательно включенных резистора сопротивлением  $R = 1$  кОм, катушки индуктивностью  $L = 300$  мГн и конденсатора переменной емкости действует синусоидальная ЭДС с действующим значением  $\varepsilon_0 = 60$  В и частотой  $\nu = 50$  кГц. Определить значение емкости  $C$  конденсатора, при котором в цепи наступит резонанс, а также действующее значение силы тока  $I_{\text{рез}}$  в цепи при резонансе.

149. Активное сопротивление колебательного контура  $R = 0,33$  Ом. Какую мощность  $P$  потребляет контур при поддержании в нем незатухающих колебаний с амплитудой силы тока  $I = 30$  мА?

150. Параметры колебательного контура имеют значения:  $C = 1,00$  нФ,  $L = 6,00$  мГн,  $R = 0,50$  Ом. Какую мощность  $P$  нужно подводить к контуру, чтобы поддерживать в нем незатухающие колебания с амплитудой напряжения на конденсаторе  $U_m = 10,0$  В?

151\*. Цепь переменного тока образована последовательно включенными активным сопротивлением  $R = 800$  Ом, индуктивностью  $L = 1,27$  Гн и емкостью  $C = 1,59$  мкФ. На зажимы цепи подано 50-периодное действующее напряжение  $U = 127$  В. Найти: а) действующее значение силы тока  $I$  в цепи; б) сдвиг по фазе  $\varphi$  между током и напряжением; в) действующие значения напряжений  $U_R$ ,  $U_L$  и  $U_C$  на зажимах каждого из элементов цепи; г) мощность  $P$  выделяющуюся в цепи.

152\*. Переменное напряжение, действующее значение которого  $U = 220$  В, а частота  $\nu = 50$  Гц, подано на катушку без сердечника с индуктивностью  $L = 31,8$  мГн и активным сопротивлением  $R = 10,0$  Ом. (рис. 10.3)

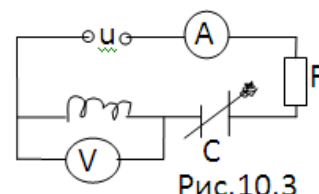


Рис.10.3

а) найти количество теплоты  $Q$  выделяющееся в катушке за секунду.

б) как изменится  $Q$  если последовательно с катушкой включить конденсатор емкости  $C = 319$  мкФ?

153\*. Добротность колебательного контура  $Q = 10,0$ . Определить на сколько процентов отличается частота свободных колебаний контура  $\omega$  от собственной частоты контура  $\omega_0$  (найти  $(\omega - \omega_0)/\omega_0$ )

154\*. Собственная частота колебаний контура  $\nu_0 = 8,0$  кГц, добротность  $Q = 72$ . В контуре возбуждают затухающие колебания. а) Найти закон убывания запасенной в контуре энергии со временем  $t$ , б) Какая часть первоначальной энергии сохраняется в контуре по истечении времени  $t = 1,00$  мс?

155\*. Какой должна быть добротность контура  $Q$ , чтобы частота, при которой наступает резонанс токов, отличалась от частоты, при которой наступает резонанс напряжений, не более чем на 1%?

156\*. Ареометр массой  $m = 0,06$  кг с цилиндрической трубкой диаметром  $D = 0,3$  см плавает в жидкости, плотность которой  $\rho = 1,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Ареометр получает небольшой импульс в вертикальном направлении и опускается в жидкость на глубину  $h = 3$  см. Коэффициент сопротивления  $r = 0,01$  кг/с при движении ареометра остается постоянным. Определите циклическую частоту колебаний; через какое число колебаний амплитуда уменьшится в  $e$  раз; работу против сил трения за первый период. Движение жидкости не учитывайте.

157\*. Квадратная проволочная рамка массой  $m = 3,0$  г совершает гармонические колебания в однородном магнитном поле относительно оси, проходящей через середины её противоположных сторон, перпендикулярной силовым линиям поля. Период колебаний  $T = 1,2$  с, ток в рамке  $I = 2,0$  А. Определите индукцию магнитного поля.

158\*. Квадратная рамка со стороной  $a = 8,0$  см из тонкой проволоки, имеющая  $N = 50$  витков и момент инерции  $I = 1,1 \cdot 10^{-4}$  кг/м<sup>2</sup>, может вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через середины противоположных сторон рамки. Ток в рамке  $I = 2,0$  А. Рамка находится в горизонтальном однородном магнитном поле напряженностью  $H = 800$  А/м. Определите период гармонических колебаний рамки.

159\*. Квадратная проволочная рамка массой  $m = 2,00$  г совершает гармонические колебания в однородном горизонтальном магнитном поле относительно вертикальной оси, проходящей через середины её противоположных сторон. Период колебаний равен  $T = 1,05$  с; индукция магнитного поля  $B = 2,00 \cdot 10^{-3}$  Тл. Определите ток в рамке.

## ТЕМА № 11

### МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

#### **Контрольные вопросы:**

1. Что называется волной? Какие виды волн вы знаете и в каких средах возможно их возникновение?
2. Какие физические величины характеризуют волну и как они связаны между собой?
3. В чем заключается эффект Доплера?
4. Какая величина переносится волной?
5. Какие явления присущи волновым процессам и при каких условиях их можно наблюдать?
6. Как возникают звуковые волны, и какими величинами они характеризуются?
7. Как возникают электромагнитные волны, и какими физическими величинами их характеризуют?
8. Чему равна объемная плотность энергии электромагнитной волны?
9. Каков физический смысл вектора Умова – Пойнтинга?
10. От чего зависит интенсивность бегущей монохроматической электромагнитной волны?

#### **Методические указания к решению задач.**

Для решения задач по разделу «Механические волны» надо повторить следующие вопросы:

- 1) виды волн;
- 2) Величины, характеризующую механическую волну, и связь между ними;
- 3) Интерференция и дифракция волн.

Специфическими для механических волн являются их природа и механизм образования в той или иной среде. И совершенно общими и обязательными для любой природы являются чисто волновые явления, как отражение, преломление, интерференция, дифракция и др.

Следует четко разграничивать два понятия: скорость гармонического колебания  $\bar{U}$  и фазовую скорость распространения волны  $v$ . Скорость гармонического колебательного движения частицы  $u = A\omega \cos(\omega t)$ . Это мгновенная скорость колебания точки для времени  $t$ . Скорость же  $v$  для данной среды – величина постоянная. Ее называют фазовой скоростью распространения какой-либо фазы волны в пространстве. Следует также особо подчеркнуть, что при распространении волны не происходит переноса вещества, однако энергия при волновом движении передается в направлении волны.

Решение задач по разделу «Электромагнитные волны» основано на понятиях об электромагнитном поле, законе электромагнитной индукции, явлениях в колебательном контуре и на уравнениях Максвелла.

## Примеры решения задач

### Задача1.

Поперечная волна распространяется вдоль упругого шнура со скоростью  $v = 15 \text{ м/с}$ . Период колебаний точек шнура  $T = 1,2 \text{ с}$ , амплитуда  $A = 2 \text{ см}$ .

Определить: 1) длину волны  $\lambda$ ; 2) фазу  $\varphi$  колебаний, смещение  $y$ , скорость  $U$  и ускорение  $a$  точки, отстоящей на расстоянии  $x = 45 \text{ м}$  от источника волны в момент времени  $t = 4 \text{ с}$ ; 3) разность фаз  $\Delta\varphi$  колебаний двух точек, лежащих на луче и отстоящих от источника волн на расстояниях  $x_1 = 20 \text{ м}$  и  $x_2 = 30 \text{ м}$ .

### Решение.

1. Длина волны равна расстоянию, которое волна проходит за один период, и может быть найдена из соотношения  $\lambda = vT$ , где  $v$  – фазовая скорость. Подставив числовые значения, получим  $\lambda = 15 \cdot 1,2 = 18 \text{ м}$ .

2. Фаза колебаний, смещение, скорость и ускорение точки могут быть найдены с помощью уравнения волны

$$y = A \sin \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) \quad (1)$$

где  $y$  – смещение колеблющейся точки,  $x$  – расстояние точки от источника волн,  $v$  – фазовая скорость распространения волны.

Фаза колебаний точки с координатой  $x$  в момент времени  $t$  определяется выражением, стоящим в уравнении волны под знаком синуса:

$$\varphi = \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) \text{ или } \varphi = \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{x}{v} \right)$$

Подставив числовые значения, получим  $\varphi = \frac{2\pi}{1,2} \left( 4 - \frac{45}{15} \right) = 1,67\pi$ .

Смещение точки определим, подставив в уравнение (1) числовые значения амплитуды и фазы  $y = 2 \sin 1,67\pi = -1,73 \text{ см}$ .

Скорость  $U$  точки является первой производной от смещения по времени, поэтому

$$U = \frac{dy}{dt} = A\omega \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) \text{ или } U = \frac{2\pi A}{T} \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right).$$

Подставив числовые значения получим  $U = 0,05 \text{ м/с}$ .

Ускорение есть первая производная от скорости по времени, поэтому  $a = \frac{dU}{dt}$ .

После подстановки числовых значений, получим  $a = -0,475 \text{ м/с}^2$ .

3. Разность фаз колебаний двух точек волны связана с расстоянием  $\Delta x$  между этими точками соотношением  $\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} (x_2 - x_1)$ .

Подставив числовые значения в (2), получим  $\Delta\varphi = 1,1\pi$ .

### Задача2.

Источник звука частотой  $\nu_0 = 18 \text{ кГц}$  приближается к неподвижно установленному резонатору, настроенному на акустическую волну длиной  $\lambda = 1,7 \text{ см}$ . С какой скоростью должен двигаться источник звука, чтобы

возбуждаемые им звуковые волны вызвали колебания резонатора?  
Температура воздуха  $T = 290 \text{ К}$ .

**Решение.**

Согласно принципу Доплера, частота  $\nu$  звука, воспринимаемая резонатором, зависит от скорости  $U_{\text{ист}}$  источника звука и скорости  $U_{\text{пр}}$  прибора. Эта зависимость выражается формулой

$$\nu = \frac{\nu + \nu_{\text{пр}}}{\nu - \nu_{\text{ист}}} \nu_0 \quad (1)$$

где  $\nu$  - скорость звука в данной среде;  $\nu_0$  - частота звуковых волн, излучаемых источником.

Учитывая, что резонатор остается неподвижным ( $\nu_{\text{пр}} = 0$ ), из формулы (1) получим

$$\nu = \frac{\nu}{\nu - \nu_{\text{ист}}} \nu_0,$$

откуда  $\nu_{\text{ист}} = \nu(1 - \nu/\nu_0)$ .

В этом выражении неизвестны значения скорости  $\nu$  звука и частоты  $\nu$ .

Скорость звука в газах зависит от природы газа и температуры и определяется по формуле

$$\nu = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (3).$$

Чтобы волны, приходящие к резонатору, вызвали его колебания, частота  $\nu$  воспринимаемых резонатором волн должна совпадать с собственной частотой  $\nu_{\text{рез}}$  резонатора, т.е.

$$\nu = \nu_{\text{рез}} = \frac{\nu}{\lambda_{\text{рез}}}$$

где  $\lambda_{\text{рез}}$  - длина собственных колебаний резонатора.

Подставив выражение  $\nu$  и  $\nu$  из равенства (3) и (4) в формулу (2), получим

$$U_{\text{ист}} = \nu \left(1 - \frac{\nu_0 \lambda_{\text{рез}}}{\nu}\right) = \nu - \nu_0 \lambda_{\text{рез}}$$

или

$$U_{\text{ист}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} - \nu_0 \lambda_{\text{рез}}$$

взяв значение  $\gamma = 1,4$ ;  $M = 0,029 \text{ кг/моль}$ , а также значения  $R, T, \nu_0, \lambda_{\text{рез}}$  и подставив их в последнюю формулу, после вычисления получим  $U_{\text{ист}} 36 \text{ м/с}$ .

**Задача3.**

Определить энергию, которую переносит за время  $t = 1 \text{ мин}$  плоская синусоидальная электромагнитная волна. Распространяющаяся в вакууме, через площадку  $S = 10 \text{ см}^2$  перпендикулярную направлению распространения волны. Амплитуда напряженности электрического поля  $E_0 = 1 \text{ мВ/м}$ . Период волны  $T \ll t$ .

**Решение.**

Энергия, переносимая электромагнитной волной за единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной направлению распространения волны, определяется вектором Пойнтинга

$$P = [E H] \quad (1)$$

Так как  $E$  и  $H$  меняются со временем по закону синуса, соотношение можно записать так:

$$P = E_0 \sin \omega t H_0 \sin \omega t = E_0 H_0 \sin^2 \omega t \quad (2)$$

Согласно определению вектора плотности потока энергии  $P = \frac{dW}{dt} \frac{t}{S}$ . Отсюда энергия  $dW$ , переносимая волной через площадку  $S$  за время  $dt$ , с учетом формулы (2), равна

$$dW = P S dt = E_0 H_0 \sin^2 \omega t dt \quad (3)$$

$H_0$  найдем из условия, что плотности энергии электрического и магнитного полей в любой момент времени равны;

$$\left( \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} \right) = \left( \frac{\mu_0 \mu H_0^2}{2} \right) \quad (4)$$

Так как  $\varepsilon = \mu = 1$ , то из (4) получим  $H = \sqrt{\varepsilon_0 / \mu_0} E$

Так же связаны между собой амплитудные значения  $H_0$  и  $E_0$ .

Тогда уравнение (3) примет вид:

$$dW = \sqrt{\varepsilon_0 / \mu_0} E_0^2 S \sin^2 \omega t dt$$

Отсюда полная энергия, переносимая волной за время  $t$

$$W = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \cdot E_0^2 S \int_0^t \sin^2 \omega t dt = \sqrt{\varepsilon_0 / \mu_0} E_0^2 S \left( \frac{\sin^2 \omega t}{4\omega} \right)$$

Так как циклическая частота неизвестна, воспользуемся условием  $T \ll t$  для оценки значения дроби  $\frac{\sin^2 \omega t}{4\omega}$ . Учитывая, что, имеем  $\sin^2 \omega t / 4\omega = 1/8\pi T \sin(4\pi t/T) \leq T/8\pi$ .

Теперь ясно, что в силу неравенства  $T \ll t$  членом  $\frac{\sin 2\omega t}{4\omega}$  в формуле (5) можно пренебречь. Тогда получим

$$W = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} E_0^2 S t$$

Подставив числовые значения, найдем

$$W = \frac{1}{2} \frac{8,85 \cdot 10^{-12}}{4\pi \cdot 10^{-7}} (10^{-3})^2 10 \cdot 10^{-4} 60 = 8 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$$

**Таблица вариантов к теме 11**

<b>№ варианта</b>	<b>Номера задач</b>			<b>№ варианта</b>	<b>Номера задач</b>			<b>Задачи для сам. работы</b>
<b>1</b>	43	52	81	<b>26</b>	17	44	80	42
<b>2</b>	42	53	82	<b>27</b>	16	43	79	61
<b>3</b>	41	54	83	<b>28</b>	14	45	78	76
<b>4</b>	40	55	84	<b>29</b>	15	46	77	82
<b>5</b>	39	56	85	<b>30</b>	12	47	76	83
<b>6</b>	38	57	86	<b>31</b>	13	48	95	84
<b>7</b>	36	63	87	<b>32</b>	11	50	94	86
<b>8</b>	37	62	88	<b>33</b>	10	51	93	89
<b>9</b>	34	61	89	<b>34</b>	8	52	92	90
<b>10</b>	35	60	90	<b>35</b>	9	53	91	91
<b>11</b>	33	59	91	<b>36</b>	7	54	90	92
<b>12</b>	31	58	92	<b>37</b>	6	55	89	95
<b>13</b>	32	68	93	<b>38</b>	5	56	88	96
<b>14</b>	30	67	94	<b>39</b>	4	57	87	97
<b>15</b>	28	66	95	<b>40</b>	3	58	86	98
<b>16</b>	29	65	76	<b>41</b>	2	59	85	99
<b>17</b>	27	64	77	<b>42</b>	1	60	84	100
<b>18</b>	26	49	78	<b>43</b>	33	69	83	101
<b>19</b>	24	50	79	<b>44</b>	34	70	82	102
<b>20</b>	25	51	80	<b>45</b>	31	71	81	103
<b>21</b>	23	48	81	<b>46</b>	35	72	60	104
<b>22</b>	21	47	82	<b>47</b>	37	73	79	105
<b>23</b>	20	46	83	<b>48</b>	36	74	78	106
<b>24</b>	18	45	84	<b>49</b>	40	75	77	107
<b>25</b>	19	44	85	<b>50</b>	41	49	76	108



## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Плоская звуковая волна возбуждается источником колебаний, частоты  $\nu = 200$  Гц. Амплитуда  $A$  колебаний источника равна 4 мм. Написать уравнение колебаний источника, если в начальный момент смещение точек источника максимально. Скорость звуковой волны принять равной 300 м/с. Затуханием пренебречь.

2. Две точки находятся на расстоянии  $\Delta x = 0,25$  м на прямой вдоль которой распространяется волна со скоростью  $v = 100$  м/с. Период колебаний  $T = 0,01$  с. Найти разность фаз колебаний в этих точках.

3. Уравнение бегущей плоской звуковой волны имеет вид  $E = 60 \cos(1800t - 5,3x)$  мкм, где  $t$  в секундах,  $x$  в метрах. Найти отношение амплитуды смещения "А" частиц среды к длине волны  $\lambda$ .

4. Поперечная волна распространяется вдоль упругого шнура со скоростью  $U = 15$  м/с. Период колебаний шнура  $T = 1,2$  с, скорость точки, отстоящей на расстоянии  $l = 45$  м от источника волн в момент времени  $t = 4$  с, равна  $v = 5,2$  см/с. Определить амплитуду колебаний точек шнура.

5. Волна с периодом  $T = 0,01$  с и скоростью  $v = 40$  м/с распространяется вдоль прямой. Найти расстояние  $\Delta x$  между двумя точками на этой прямой, разность фаз колебаний  $\Delta \varphi$  между которыми равна  $3/2 \pi$ .

6. От источника колебаний распространяются волны вдоль прямой линии. Амплитуда колебаний  $A = 15$  см. Как велико смещение точки  $x$ , удаленной от источника на  $l = 0,8$  длины волны в момент, когда от начала колебаний источника прошло время  $t = 0,8$  периода колебаний?

7. Определить разность фаз  $\Delta \varphi$  колебаний двух точек, отстоящих друг от друга на  $\Delta x = 15$  см, если скорость распространения волны в упругой среде  $v = 15$  м/с. Частота колебаний  $\nu = 25$  Гц.

8. Период колебания вибратора  $T = 0,01$  с, скорость распространения волны

$v = 340$  м/с. Определить разность фаз колебаний  $\Delta \varphi$  в двух точках, лежащих на одном луче, если расстояние  $\Delta l$  между ними соответственно равно 0,4; 1,7; 0,55 м. Определить смещения этих точек в тот же момент времени, если смещение начальной точки равно нулю, амплитуда колебаний всех точек одинакова и равна  $A = 1$  см.

9. Точки находящиеся на одном луче и удаленные от источника колебаний на  $l_1 = 12$  м и  $l_2 = 14,7$  м, колеблются с разностью фаз  $\Delta \varphi = 3/2 \pi$  рад. Определить скорость распространения колебаний в данной среде, если период колебания источника  $T = 10^{-3}$  с.

10. С какой скоростью распространяется волна при частоте  $\nu = 600$  Гц, если разность фаз,  $\Delta \varphi$  двух точек, отстоящих друг от друга на  $\Delta x = 10$  см равна  $\pi/4$ ?

11. Уравнение затухающих колебаний дано в виде  $x = 4 \sin 600 \pi t$ . Найти смещение от положения равновесия точки, находящейся на расстоянии  $l = 75$  см от источника колебаний, через  $t = 0,01$  с после начала колебаний. Скорость распространения колебаний  $v = 300$  м/с.

12. Найти расстояние  $\Delta X$  между двумя точками на прямой, вдоль которой распространяется волна со скоростью  $v = 10$  м/с, если разность фаз колебаний в этих точках  $\Delta \varphi = \pi$ . Период колебаний  $T = 0,2$  с.

13. Плоская звуковая волна возбуждается источником колебаний частоты  $\nu = 200$  Гц. Амплитуда колебаний источника  $A = 4$  мм, Найти смещение  $x(t)$  точек среды, находящихся на расстоянии  $X = 100$  см от источника, в момент  $t = 0,1$  с. Скорость  $v$  звуковой волны принять равной 300 м/с. Затуханием пренебречь.

14. Уравнение колебаний источника  $x = 3 \sin 20 \pi t$  см. Определить смещение точки, расположенной на расстоянии  $l = 3$  м от источника колебаний, через  $t = 0,1$  с после начала колебаний при скорости распространения волны  $v = 200$  м/с.

15. Движение некоторой точки незатухающей волны описывается уравнением  $X = 0,05 \cos 2\pi t$ . Написать уравнение движения точек, лежащих на луче, вдоль которого распространяется волна и отстоящих от заданной на  $l_1 = 15$  см и  $l_2 = 30$  см. Скорость распространения волны  $v = 0,6$  м/с.

16. На расстоянии  $l = 4$  м и от источника плоской волны частотой  $\nu = 440$  Гц перпендикулярно её луче расположена стена. Определить расстояния от источника волн до точек, в которых будут первые три пучности стоячей волны, возникшей в результате сложения бегущей и отраженной от стены волн. Скорость  $v$  волны считать равной 440 м/с

17. Плоская звуковая волна имеет период  $T = 3$  мс, амплитуду  $A = 0,2$  мм и длину волны  $\lambda = 1,2$  м. Для точек среды, удаленных от источника колебаний на расстояние  $\Delta X = 2$  м, найти 1) смещение в момент  $t = 7$  с; 2) скорость  $v$  и ускорение  $a$  для того же момента времени. Начальную фазу колебаний принять равной нулю.

18. Волна начинает распространяться вдоль резинового шнура при частоте  $\nu = 2$  Гц. Разность фаз колебаний двух точек шнура, находящихся на расстоянии  $\Delta X = 0,2$  м друг от друга равна  $\Delta \varphi = 5/8\pi$ . Через сколько секунд волна дойдет, до точки шнура отстоящей от источника колебания на расстоянии  $r = 3,2$  м?

19. Уравнение незатухающих колебаний дано в виде  $X = \sin 2,5\pi t$ . Найти ускорение точки, находящейся на расстоянии  $l = 20$  м от источника колебаний, для момента  $t = 1$  с после начала колебаний. Скорость распространения колебаний  $v = 100$  м/с.

20. Плоская волна распространяется вдоль прямой со скоростью  $v = 20$  м/с. Две точки, находящиеся на этой прямой на расстояниях  $l_1 = 12$  м и  $l_2 = 15$  м колеблются с амплитудами  $A = 0,1$  м и рядностью фаз  $\Delta \varphi = 0,75\pi$ . Найти смещения  $x_1$  и  $x_2$  указанных точек в момент времени  $t = 1,2$  с

21. Задано уравнение плоской волны  $y = A \cos(\omega t - kx)$ , где  $A = -0,5$  см,  $\omega = 628$  с<sup>-1</sup>,  $k = 2$  м<sup>-1</sup>. Определить: 1) частоту колебаний и длину волны  $\lambda$ ; 2) фазовую скорость  $v$ ; 3) максимальные значения скорости и ускорения частиц среды.

22. Поперечная волна распространяется вдоль упругого шнура со скоростью  $v = 15$  м/с. Период колебаний точек шнура  $T = 1,2$  с. Определить разность фаз  $\Delta\varphi$  колебаний двух точек, лежащих на луче и отстоящих от источника волн на расстояниях  $x_1 = 20$  м и  $x_2 = 30$  м.

23. Покажите, что выражение  $x = A \cos(\omega t - kx)$  удовлетворяет волновому уравнению  $\frac{d^2\xi}{dx^2} = \frac{1}{g^2} \frac{d^2\xi}{dt^2}$  при условии, что  $\omega = kv$

24. Составить уравнение плоской волны, распространяется в воздухе, частицы которой колеблются с частотой  $\nu = 2$  кГц и амплитудой

$A = 1,7$  мкм. Скорость распространения звука в воздухе  $v = 340$  м/с.

25. В однородной упругой среде распространяется плоская волна вида  $y = A \cos(\omega t - kx)$ . Изобразить для момента  $t = 0$  графики зависимостей от  $x$  величины  $y$  и  $v_y$ .

26. Составить уравнение плоской волны, распространяющейся в среде, точки которой колеблются с частотой  $\nu = 1,5$  кГц. Длина волны, соответствующая данной частоте равна  $\lambda = 15$  см. Максимальные смещения точек среды от положения равновесия в  $n = 200$  раз меньше длины волны.

27. Плоская бегущая волна представлена уравнение

$y = 5 \sin(1980t - 6x)$  м где  $y$  – смещение частицы см,  $t$  – время, с,  $x$  – расстояние, м, по оси, вдоль которой распространяется волна. Определить разность фаз между колеблющимися точками, находящимися на расстоянии  $\Delta x = 35$  см друг от друга.

28. На какую длину настроен колебательный контур, ёмкость которого  $C = 10^{-12}$  Ф, если при колебаниях максимальное напряжение на конденсаторе  $U = 100$  В, а максимальный ток в контуре  $I = 0,628$  А?

29. Найти скорость  $v$  распространения электромагнитных волн в концентрическом кабеле, в котором пространство между внешним и внутренним проводом заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 4,5$ . Потерями в кабеле пренебречь.

30. Изменение тока в колебательном контуре соответствует уравнению  $I = 0,3 \sin 15,7 t$ . Найти длину  $\lambda$  испускаемой контуром электромагнитной волны.

31. Два параллельных провода, погруженные в глицерин, индуктивно соединены с генератором электромагнитных колебаний частотой

$\nu = 4,2 \cdot 10^8$  Гц. Диэлектрическая проницаемость глицерина равна 26. Магнитная проницаемость его равна единице. Определить расстояние между пучностями стоячих волн на проводах.

32. Колебательный контур состоит из конденсатора с емкостью

$C = 48$  мкФ, катушки с индуктивностью  $L = 24$  мГн и активным сопротивлением  $R = 20$  Ом. Насколько изменится, длина волны, испускаемой контуром, если пренебречь активным сопротивлением катушки?

33. На какую длину волны  $\lambda$  будет резонировать колебательный контур, состоящий из двух одинаковых конденсаторов емкости  $C_0 = 10$  мкФ каждый, соединенных параллельно, катушки с индуктивностью  $L = 10$  мГн и активного сопротивления  $R = 40$  Ом.

34. Скорость распространения электромагнитных волн в кабеле уменьшилась на 20% после того, как пространство между внешним и внутренним проводниками заполнили диэлектриком. Определить относительную электрическую восприимчивость диэлектрика.

35. Найти наименьшую частоту собственных колебаний в двухпроводной линии, если длина проводов  $l = 10$  м. и они погружены в керосин.

36. Уравнение изменения со временем разности потенциалов на обкладках конденсаторов в колебательном контуре имеет вид

$U = 50 \cos 10^4 \pi t$  В. Емкость конденсатора  $C = 0,1$  мкФ найти длину волны  $\lambda$ , соответствующую этому контуру.

37. Катушка с индуктивностью  $L = 30$  мкГн присоединена к плоскому конденсатору с площадью пластин  $S = 0,01$  м<sup>2</sup> и расстоянием между ними  $d = 0,1$  мм. Найти диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$  среды, заполняющей пространство между пластинами, если контур настроен на длину волны  $\lambda = 750$  м.

38. Сколько электромагнитных колебаний (высокой частоты) с длиной волны  $\lambda = 375$  м происходит в течение одного периода звука с частотой  $\nu = 500$  Гц произносимого перед микрофоном передающей станции?

39. При изменении тока в катушке индуктивности на  $\Delta I = 1$  А за время  $\Delta t = 0,6$  с в ней индуцируется ЭДС,  $\epsilon = 0,2$  мВ. Какую длину будет иметь радиоволна, излучаемая генератором, колебательный контур которого состоит из катушки и конденсатора емкости  $C = 14,1$  нФ?

40. В однородной и изотропной среде с  $\epsilon = 3$  и  $\mu = 1$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны  $E_m = 10$  В/м. Найти амплитуду напряженности магнитного поля волны  $H_m$  и фазовую скорость волны  $u$ .

41. Амплитудные значения смещения и скорости плоской акустической волны в воде равны соответственно  $A = 5 \cdot 10^{-4}$  м и  $v = 1,38$  м/с. Составьте уравнения волн смещения и скорости. Найдите смещение и скорость точки, отстоящей от источника колебаний на расстоянии  $X = \frac{\lambda}{6}$  по истечении времени  $T/4$  после начала колебаний.

42. Если в среде, где распространяются волны, выбрать начало координат так, чтобы оно совпадало с пучностью смещения точек среды, а ось  $X$  - с направлением распространения волны, то на расстоянии  $x$  смещение точек среды описывается уравнением  $\xi = 2 \cdot 10^{-3} \cos \frac{x\pi}{3} \sin 110\pi t$  м. Составьте уравнение бегущих волн. Определить координаты точек, в которых скорости частиц имеют экстремальные значения.

43. Для звуковой волны, описываемой уравнением  $x = 0,1 \cos(6280t - 18,5)$ . Найти: 1) амплитуду скорости частиц среды  $v_m$ ; 2) отношение амплитуды скорости частиц  $v_m$  скорости распространения волны.

44. Ружейная пуля летит со скоростью  $v = 20$  м/с. Во сколько раз изменится частота тона свиста пули для неподвижного наблюдателя, мимо которого пролетает пуля? Скорость распространения звука в воздухе

$$v_{зв} = 333 \text{ м/с},$$

45. Наблюдатель на берегу моря слышит звук пароходного гудка. Когда наблюдатель и пароход находятся в покое, частота воспринимаемого наблюдателем звука  $\nu = 420$  Гц. При движении парохода воспринимаемая частота  $\nu_1 = 430$  Гц, если пароход приближается к наблюдателю, и  $\nu_2 = 415$  Гц, если пароход удаляется от него. Найти скорость парохода в первом и во втором случаях, если скорость звука в воздухе  $v_{зв} = 338$  м/с.

46. Частота основного тона гудка паровоза  $\nu = 650$  Гц. Какова кажущаяся частота для наблюдателя, к которому паровоз приближается со скоростью  $v = 54$  км/ч?

47. Летучая мышь летит перпендикулярно к стене со скоростью  $v = 6$  м/с, издавая ультразвук частотой  $\nu = 45$  кГц. Какие две частоты звука  $\nu_1$  и  $\nu_2$  слышит летучая мышь? Скорость звука в воздухе  $v_{зв} = 340$  м/с.

48. Источник, излучающий звук частотой  $\nu_0 = 600$  Гц движется мимо неподвижного наблюдателя со скоростью  $v = 40$  м/с. На сколько отличаются частоты звука, воспринимаемые наблюдателем при приближении и удалении источника. Температура воздуха  $T = 290$  К.

49. Проезд движущиеся со скоростью  $v = 120$  км/ч, дает свисток длительностью  $t_0 = 5$  с. Какова будет кажущаяся продолжительность  $t$  свистка для неподвижного наблюдателя, если поезд удаляется от него. Принять скорость звука равной  $v_{зв} = 343$  м/с.

50. Высота тона свистка пули, пролетающей мимо неподвижного наблюдателя изменяется в четыре раза ( $\nu_1/\nu_2 = 4$ ). С какой скоростью она летит, если скорость звука в воздухе  $v_{зв} = 333$  м/с?

51. Два поезда идут навстречу друг другу со скоростями  $v_1 = 72$  км/ч и  $v_2 = 54$  км/ч. Первый поезд дает свисток с частотой  $\nu_0 = 600$  Гц. Найти кажущуюся частоту звука, воспринимаемого пассажиром второго поезда перед встречей поездов. Скорость звука принять равной  $v_{зв} = 340$  м/с.

52. Источник звука движущейся со скоростью  $v = 17$  м/с, даёт сигнал в течение  $t_0 = 2$  с. Какова продолжительность сигнала для неподвижного наблюдателя, если источник удаляется от наблюдателя? Скорость звука принять равной 341 м/с.

53. Узкий пучок ультразвуковых волн частотой  $\nu_0 = 50$  кГц направлен от неподвижного локатора к приближающейся подводной лодке. Определить  $v$  скорость подводной лодки, если частота биений (разность частот колебаний источника и сигнала, отраженного от лодки) равна 250 Гц. Скорость ультразвука в морской воде принять равной 1,5 км/с.

54. Когда поезд проходит мимо неподвижного наблюдателя, высота звукового сигнала меняется скачком. Определить относительное изменение частоты  $\Delta\nu/\nu_0$  если скорость поезда  $v = 54$  км/ч. Скорость звука в воздухе  $v_{зв} = 332$  м/с.

55. На шоссе сближаются две автомашины со скоростями  $v_1 = 30$  м/с и  $v_2 = 20$  м/с. Первая из них подает звуковой сигнал частотой  $\nu_0 = 600$  Гц. Найти кажущуюся частоту звука, воспринимаемого водителем

второй машины до и после встречи. Скорость звука принять равной  $v_{зв} = 332$  м/с.

56. Скорый поезд приближается к стоящему на путях электропоезду со скоростью  $v = 72$  км/ч. Электропоезд подает звуковой сигнал частотой  $\nu = 0,6$  кГц. Определить кажущуюся частоту звукового сигнала, воспринимаемого машинистом скорого поезда.

57. Мимо железнодорожной платформы проходит электропоезд со скоростью  $v = 120$  км/ч. Наблюдатель, стоящий на платформе слышит звук сирены поезда. Когда поезд приближается, кажущаяся частота звука

$\nu = 1100$  Гц, когда удаляется, кажущаяся частота звука  $\nu = 900$  Гц.

Определить скорость звука в воздухе.

58. Мимо неподвижного электровоза, гудок которого дает сигнал частотой  $\nu = 300$  Гц, проезжает поезд со скоростью  $v = 40$  м/с. Какова кажущаяся частота  $\nu$  тона для пассажиров, когда поезд удаляется от него? Скорость звука принять равной 330 м/с.

59. Поезд проходит мимо станции со скоростью  $v = 40$  м/с. Частота  $\nu_0$  тона гудка электровоза равна 300 Гц. Определить кажущуюся частоту  $\nu$  тона для человека стоящего на платформе когда поезд удаляются. Скорость звука  $v_{зв}$ . Принять равной 330 м/с.

60. Паровоз подходит к неподвижному наблюдателю со скоростью  $v = 20$  м/с. Какую высоту основного тона гудка он услышит, если машинист слышит тон в  $\nu = 300$  Гц? Скорость звука принять равной  $v_{зв} = 330$  м/с.

61. Резонатор и источник звука частотой  $\nu_0 = 8$  кГц расположены на одной прямой. Резонатор настроен на длину волны  $\lambda_p = 4,2$  см и установлен неподвижно. Источник звука может перемещаться по направляющей вдоль прямой. С какой скоростью и в каком направлении должен двигаться источник звука, чтобы возбуждаемые им звуковые волны вызвали колебания резонатора?

62. Покоящийся источник испускает по всем направлениям звуковую волну с длиной, равной  $\lambda_0$ . Как, изменится длина волны, если источник привести в движение со скоростью, равной половине скорости звука?

63. По прямому шоссе едет со скоростью  $v_1 = 60$  км/ч легковой автомобиль. Его догоняет движущаяся со скоростью  $v_2 = 90$  км/ч специальная автомашина с включенным звуковым сигналом частоты

$\nu_0 = 1$  кГц. Сигнал какой частоты  $\nu$  будут слышать пассажиры автомобиля? Скорость звука считать равной  $v_{зв} = 340$  м/с.

64. Два электропоезда движутся по прямолинейному участку пути во встречных направлениях с одинаковой скоростью  $v = 50$  км/ч. Поравнявшись, машинисты приветствуют друг друга продолжительными гудками. Частота обоих сигналов одинакова и равна  $\nu_0 = 200$  Гц. Что слышит железнодорожный рабочий находящийся на путях на некотором расстоянии от места встречи поездов? Температура воздуха  $t = -10^\circ$  С.

65. Навстречу распространяющейся со скоростью  $v = 340$  м/с плоской звуковой волне частоты  $\nu_0 = 1$  кГц движется стенка со скоростью  $v = 17$  м/с. Найти частоту  $\nu$  отраженной стойкой волны.

66. Два поезда идут навстречу друг другу с одинаковой скоростью. Какова должна быть их скорость  $v$ , чтобы частота свисти одного из них, слышимого на другом, изменялась в  $n = 9/8$  раза? Скорость звука в воздухе  $v_{зв} = 335$  м/с.

67. Источник звука, собственная частота которого  $\nu_0 = 1,8$  Гц, движется равномерно по прямой, отстоящей от неподвижного наблюдателя на  $l = 250$  м. Скорость источника составляет  $\eta = 0,8$  скорости звука. Найти частоту звука, воспринимаемую наблюдателем в момент, когда источник окажется напротив него.

68. Неподвижный наблюдатель воспринимает звуковые колебания от двух камертонов, один из которых приближается, к другой с такой же скоростью удаляется. При этом наблюдатель слышит биение с частотой  $\nu = 2$  кГц. Найти скорость каждого камертона, если их частота колебаний

$\nu_0 = 690$  Гц и скорость звука в воздухе  $v = 340$  м/с.

69. Источник звуковых колебаний с частотой  $\nu_0 = 1700$  Гц и приемник находятся в одной точке. В момент  $t = 0$  источник начинает удаляться от приемника с постоянным ускорением,  $a = 10$  м/с. Считая скорость звука  $v = 340$  м/с. Найти частоту колебаний, воспринимаемых неподвижным приемником через  $t = 10$  после начала движения источника.

70. На одной и той же нормали к стенке находятся источник звуковых колебаний с частотой  $\nu_0 = 1700$  Гц и приемник. Источник и приемник неподвижны, а стенка удаляется от источника со скоростью  $v = 6$  см/с. Найти частоту биений, которую будет регистрировать приемник. Скорость звука  $v_{зв} = 340$  м/с.

71. Источник звука с частотой  $\nu_0 = 1800$  Гц движется равномерно по прямой, отстоящей от неподвижного наблюдателя на  $l = 250$  м. Скорость источника составляет  $\eta = 0,5$  скорости звука. Определить расстояние источником и наблюдателем в момент, когда воспринимаемая наблюдателем частота  $\nu = \nu_0$

72. Наблюдатель, стоящий на шоссе, слышит звуковой сигнал, проезжающего мимо автомобиля. Когда он приближается, частота звука, регистрируемого наблюдателем,  $\nu_1 = 3$  кГц, а когда удаляется

$\nu_2 = 2,5$  кГц. Какова скорость автомобиля  $v$  и частота колебаний  $\nu_1$  источника звука? Скорость звука принять  $v_3 = 340$  м/с.

73. Подводная лодка, погружаясь вертикально излучает короткие звуковые импульсы сигнала гидролокатора длительностью  $T_0$  и направлений дна. Длительность отраженных сигналов, намеренных гидроакустикой на лодке, равна  $T$ . Какова скорость погружения лодки? Скорость звука в воде  $v$ , дно горизонтальное.

74. Два катера движутся навстречу друг другу с одинаковой скоростью, равной  $v = 10$  м/с. С первого катера посылается ультразвуковой сигнал

частотой  $\nu = 50$  Гц, который отражается от второго катера и принимается на первом. Определить частоту принятого сигнала.

75. Подводная лодка, движущаяся со скоростью  $v = 10$  м/с, посылает ультразвуковой сигнал частотой  $\nu = 30$  кГц, который отразившись от препятствия, возвращается обратно. Определить разницу между частотами посылаемого и принимаемого сигналов.

76. Звуковые колебания распространяется со скоростью  $v = 330$  м/с в воздухе, плотность которого  $\rho = 0,0013$  г/см<sup>3</sup>. Амплитуда колебаний  $A = 3 \cdot 10^{-4}$  см. За  $t = 2$  с в ухо человека попадает в среднем энергия  $W = 3 \cdot 10^{-5}$  Дж, если площадь уха принять равной  $S = 4$  см<sup>2</sup>. Определить частоту колебаний. (Среднее значение квадрата синуса за период  $1/2$ ).

77. Входной контур радиоприемника настроен на длину волны  $\lambda = 1100$  м. В катушке с индуктивностью  $L = 10^{-5}$  Гн при приеме запасается энергия  $W = 4,10^{-5}$  Дж. Каково максимальное напряжение на конденсаторе.

78. Плоская электромагнитная волна распространяется в вакууме (приведите рисунок волны) вдоль оси  $x$ . Средний поток энергии, приходящийся на  $1$  см<sup>2</sup>, в направлении распространения волны равен  $\Phi = 2,6 \cdot 10^{-5}$  Вт. Определить максимальное значение напряженности электрического поля. (Среднее значение квадрата синуса за период равно  $1/2$ ),

79. Определить мощность  $N$  изотропного точечного источника звуковых волн, если на расстоянии  $r = 10$  м от него, средняя объемная плотность  $\langle \omega \rangle$  энергии равно. Температуру воздуха принять равной  $T = 250$  К.

80. Вдоль стального стержня с плотностью  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup> распространяется упругая волна со скоростью  $v = 5 \cdot 10^3$  м/с. Длина волны  $\lambda = 5$  м. Среднее значение величины вектора Умова равно  $I = 780$  Вт/м<sup>2</sup>. Определите амплитуду колебаний. Среднее значение квадрата синуса за период равно  $1/2$ ).

81. Мощность изотропного точечного источника звуковых волн равна  $N = 10$  Вт. Какова средняя объемная плотность  $\langle w \rangle$  энергии на расстоянии  $r = 10$  м от источника волн? Температуру  $T$  воздуха принять равной  $250$  К.

82. Звуковые колебания, имеющие частоту  $\nu = 500$  Гц, вызывают болевые ощущения у человека, если амплитуда колебаний  $A = 2 \cdot 10^{-4}$  м. Определите средний поток энергии, достигающих уха и приходящийся на  $S = 1$  см<sup>2</sup> площади, если скорость распространения колебания  $v = 350$  м/с при плотности воздуха  $\rho = 0,0012$  г/см<sup>3</sup>. (Среднее значение квадрата синуса за период равно  $1/2$ ).

83. Энергия звукового поля, заключенного в цилиндрической трубке диаметром  $d = 20$  см и длиной  $l = 5$  м, заполненной сухим воздухом, равна  $W = 23,7$  мкДж. Определить интенсивность звука  $I$ . Скорость звука принять равной  $v = 332$  м/с.

84. Плоская электромагнитная волна распространяется в вакууме (приведите рисунок волны) вдоль оси  $x$ . Средний поток энергии,



приходящийся на  $1\text{см}^2$  в направлении распространения волны, равен  $\Phi = 2,6 \cdot 10^{-3}\text{Вт}$ . Определите максимальное значение напряженности электрического поля. (Среднее значение квадрата синуса за период равно  $1/2$ ).

85. Средняя объемная плотность энергии звуковой волны  $\langle w \rangle = 3,01\text{мДж/м}^3$ . Определить интенсивность звука, если он распространяется в сухом воздухе при нормальных условиях.

86. Звуковые колебания, имеющие частоту  $\nu = 50\text{Гц}$ , воспринимаются ухом человека, если средний поток энергии, достигающий уха и приходящийся на  $S = 1\text{см}^2$  площади будет не меньше  $10^{-9}\text{Вт}$ . Определите амплитуду колеблющихся частиц воздуха в такой волне, если скорость распространения колебаний  $v = 350\text{м/с}$  при плотности воздуха. (Среднее значение квадрата синуса за период, равно  $1/2$ ).

87. Интенсивность звука  $I = 1\text{Вт/м}^2$ . Определить среднюю объемную плотность  $\langle w \rangle$  энергии звуковой волны, если звук распространяется в сухом воздухе при нормальных условиях.

88. Плоская электромагнитная волна распространяется в вакууме вдоль оси  $x$  (приведите рисунок волны). Максимальное значение электрического поля равно  $E_m = 300\text{В/м}$ . Определить среднее значение величины вектора Умова (Среднее значение квадрата синуса за период равно  $1/2$ ).

89. Плоская электромагнитная волна распространяется в вакууме. Частота колебаний  $\nu = 10^{-3}\text{с}^{-1}$ . Определите среднюю энергию, проходящую за  $t = 4\text{с}$  через площадку  $S = 20\text{см}^2$ , перпендикулярную направлению скорости распространения волны, если максимальное значение напряженности электрического поля равно  $100\text{В/м}$ . (Среднее значение квадрата синуса за период равно  $1/2$ ). Запишите уравнение волны с числовыми коэффициентами, произвольно выбрав начальные условия.

90. Плоская электромагнитная волна распространяется в вакууме. Частота колебаний  $\nu = 2,0 \cdot 10^6\text{с}^{-1}$ . Максимальное значение напряженности магнитного поля равно  $0,50\text{А/м}$ . Определить среднее значение величины вектора Пойнтинга за период. (Среднее значение квадрата синуса за период равно  $1/2$ ). Запишите уравнение волны с числовыми коэффициентами, произвольно выбрав начальные условия.

91. Уравнение плоской звуковой волны, распространяющейся в воздухе имеет вид:  $y = 6 \cdot 10^{-6}\sin(600\pi t - 2\pi r)$ . Определите значение вектора Умова в точке, находящейся на расстоянии  $0,25\text{м}$  от источника волны в направлении распространения волны через  $0,010\text{с}$  после начала колебаний источника, и интенсивность волны. Плотность воздуха  $1,24\text{кг/м}^3$ , среднее значение квадрата косинуса за период равно  $1/2$ .

92. Определить энергию, которую переносит за время  $t = 1\text{мин}$  плоская синусоидальная электромагнитная волна, распространяющаяся в

вакууме, через площадку  $S = 10\text{см}^2$ , расположенную перпендикулярно направлению распространения волны. Амплитуда напряженности электрического поля  $E_m = 1\text{мВ/м}$ . Период волны  $T \ll t$ .

93. Плоская волна распространяется в среде с плотностью  $\rho$ . Уравнение волны имеет вид:  $y = A \sin(\omega t - kx)$ . Чему равна интенсивность волны?

94. Плотность энергии в некоторой точке волнового поля спустя  $0,01$  с после прохождения максимума синусоидальной волны равна  $0,2$  от максимальной. Какова частота?

95\*. Звуковые колебания, имеющие частоту  $\nu = 100$  Гц, распространяются со скоростью  $v = 330$  м/с в воздухе с плотностью  $\rho = 0,0013\text{г/см}^3$ . Мгновенное значение вектора Умова-Пойнтинга в точке, которая находится на расстоянии  $X = \lambda/4$  от источника колебаний для момента времени  $t = T/4$ , равно  $I = 1,6 \cdot 10^3$  Вт/м<sup>2</sup>. Определить амплитуду колебаний. (Колебания происходят по закону косинуса).

96\*. Плоская гармоническая волна с частотой  $\omega$  распространяется со скоростью  $v$  в направлении, составляющем углы  $\alpha, \beta, \gamma$  с осями  $x, y, z$ . Найти разность фаз колебаний в точках с координатами  $x_1, y_1, z_1$  и  $x_2, y_2, z_2$ .

97\*. В однородной среде распространяется плоская упругая волна описываемая уравнением:  $\xi = a \exp(-\gamma x) \cdot \cos(\omega t - kx)$ . Положив  $\lambda = 1$  м и  $\gamma = 0,1\text{м}^{-1}$ , найти разность фаз в точках, для которых отношение амплитуд смещения частиц среды  $\eta = 1,01$ .

98\*. Плоская волна с частотой  $\omega$  распространяется так, что некоторая фаза колебаний перемещается вдоль осей  $x, y, z$  со скоростями соответственно  $v_1, v_2, v_3$ . Найти волновой вектор  $k$  предполагая орты осей заданными.

99\*. В среде  $K$  распространяется упругая плоская волна равная  $\xi = a \cos(\omega t - kx)$ . Найти уравнение этой волны в  $K'$ - системе отсчета, движущейся в положительном направлении оси  $x$  с постоянной скоростью  $V$  по отношению к среде  $K$ .

100\*. Плоская электромагнитная волна с частотой  $\nu = 10$  МГц распространяется в слабо проводящей среде с удельной проводимостью  $\varsigma = 10$  мСм/м и диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 9$ . Найти отношение амплитуд плотностей токов проводимости и смещения.

101\*. На оси  $x$  находятся источник и приемник звуковых колебаний с частотой  $\nu_0 = 2$  кГц, Источник совершает гармонические колебания вдоль этой оси с круговой частотой  $\omega$  и амплитудой  $A = 50$  см. При каком значении  $\omega$  ширина частотного интервала, воспринимаемого неподвижным приемником, будет составлять  $\Delta\nu = 200$  Гц? Скорость звука  $v = 340$  м/с.

102\*. Источник звуковых колебаний частоты  $\nu_0 = 1$  кГц движется по нормали к стенке со скоростью  $v = 0,17$  м/с. На этой же нормали

расположены два неподвижных приемника Ц-И-П стенки. Какой из приемников будет регистрировать биения и какова их частота?

103\*. При наблюдении спектральной линии водорода с длиной волны  $\lambda = 485,133 \text{ нм}$  в спектре Солнца обнаружено, что на противоположных краях диска на экваторе спектральные линии отличаются по длине волны на  $\Delta\lambda = 0,65 \text{ нм}$ . Найти период вращения Солнца вокруг своей оси.

104\*. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна с частотой,  $\nu = 10^{10} \text{ Гц}$ . Амплитуда электрического вектора волны  $E_m = 0,775 \text{ В/м}$ . На пути волны располагается поглощающая волну поверхность, имеющая форму полусферы радиуса  $r = 0,632 \text{ м}$ , обращенная своей вершиной в сторону распространения волны. Какую энергию поглощает эта поверхность за время  $t = 1 \text{ с}$ .

105\*. Плоская гармоническая линейно поляризованная электромагнитная волна распространяется в вакууме. Амплитуда напряженности электрической составляющей волны  $E_m = 50 \text{ мВ/м}$ , частота  $\nu = 100 \text{ МГц}$ . Найти среднюю за период колебания плотность потока энергии.

106\*. По прямому проводнику круглого сечения течет ток  $I$ . Найти поток вектора Пойнтинга через боковую поверхность участка данного проводника, имеющего сопротивление  $R$ .

107\*. Изотропный точечный источник, звуковая мощность которого  $N = 0,1 \text{ Вт}$ , находится в центре круглого полого цилиндра радиуса  $r = 1 \text{ м}$  и высоты  $h = 2 \text{ м}$ . Полагая, что стенки цилиндра полностью поглощают звук, найти средний поток энергии, падающей на боковую поверхность цилиндра.

108\*. В вакууме вдоль оси  $x$  установилась стоячая электромагнитная волна  $E = E_m \cos kx \cdot \cos \omega t$ . Найти проекцию вектора Пойнтинга на ось  $x$  и её среднее значение за период колебаний.

**ВОЛНОВАЯ ОПТИКА**

**Контрольные вопросы:**

1. В чем заключается принцип суперпозиции волн? Какие волны называют когерентными? Что такое интерференция волн?

2. При каком условии наблюдается интерференционный максимум интенсивности? Минимум интенсивности ?

3. Почему не наблюдается интерференционная картина от двух независимых источников света? Как получить когерентные источники света в оптике и какие методы получения вы знаете?

4. Как происходит интерференция света в тонких плёнах? Объясните возникновение колец Ньютона. Чем отличаются друг от друга интерференционные картины, наблюдаемые в проходящем и отражённом свете ?

5. Что такое дифракция света ? В чём заключается принцип Гюйгенса? Какие дополнения к нему сделал Френель?

6. В чём заключается метод зон Френеля? Как с его помощью объяснить прямолинейное распространение света, дифракцию на простейших преградах?

7. Что такое дифракция Фраунгофера? Какой вид имеют дифракционные картины от одной щели и от дифракционной решётки? При каких условиях наблюдаются максимумы и минимумы в этих картинах?

8. Чем поляризованный свет отличается от естественного? От чего зависит степень поляризации при отражении света от границы раздела двух диэлектриков? Сформулируйте закон Брюстера.

9. В каких веществах возникает двойное лучепреломление? Чем отличается друг от друга обыкновенные и необыкновенные лучи? В чем заключается закон Малюса?

10. В каких веществах возникает вращение плоскости поляризации? От чего зависит угол поворота плоскости поляризации?

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ**

В задачах про интерференцию света стоит проанализировать метод получения негативных волн и рассматривать условия усиления и ослабления волн при интерференции. Нужно помнить, что при изучении интерференции в тонких плёнах в случае отражения света от более плотной среды возникает дополнительная разность хода, равная половине длины волны.

Решение задачи по дифракции света в соответствии с принципом Гюйгенса-Френеля сводится к нахождению результата интерференции вторичных волн за препятствием. Применение метода зон Френеля позволяет облегчить этот расчёт.

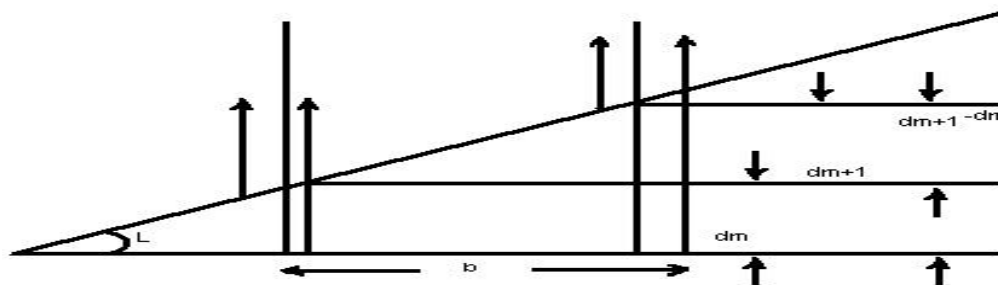
В задачах связанных с явлением поляризации, также нужно проанализировать метод получения поляризованного света. В случае отражения света от поверхности диэлектрика нужно помнить, что в закон

Брюстера входит относительный показатель преломления сред, от границы которых происходит отражение. При использовании двойного лучепреломления для получения поляризованного света для решения задач применяется закон Малюса.

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### Задача 1.

На тонкий стеклянный клин падает нормально пучок лучей с длиной волны  $\lambda = 500$  нм (рис 1.). Расстояние между соседними тёмными интервалами полосами в отражённом свете  $b = 0,5$  мм. Определить угол  $\alpha$  между поверхностями клина. Показатель преломления стекла, из которого изготовлен клин  $n = 1,6$ .



(рис 1.)

### Решение.

Лучи, падая нормально к грани клина, отражаются как от верхней, так и от нижней грани клина. Эти лучи когерентны. Поэтому на поверхности клина будут наблюдаться полосы, которые представляют собой геометрическое место точек, соответствующих одинаковой толщине клина (полосы равной толщины). Так как угол клина мал, то отраженные лучи 1 и 2 будут практически параллельны. Темные стороны клина будут видны на тех участках клина, для которых разность хода лучей кратна нечётному числу половин длин волн.

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

Где  $m = 0; \pm 1; \pm 2;$

Разность хода  $\Delta$  двух лучей складывается из разности оптических длин путей этих лучей  $2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i}$  и половины длины волны  $\frac{\lambda}{2}$ , добавочной разности хода, возникающей при отражении от более плотной среды.  $d$  – толщина клина в рассматриваемом месте  $n$  – показатель преломления вещества клина  $i$  – угол падения света на клин. Подставляя в формулу (1) выражение разности хода  $\Delta$ , получим

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

Согласно условию угол  $i = 0$ , следовательно,  $\sin i = 0$ . Упрощая выражение (2), получим

$$2d_{m\eta} = m\lambda \quad (3)$$

Для соседней полосы с номером  $(m+1)$  можно аналогично записать

$$2dm + 1\eta = (m + 1)\lambda \quad (4)$$

Из рисунка можно найти, что

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{dm+1-dm}{b} \quad (5)$$

Найдём из (3) и (4) величины  $d_{m+1}$  и  $d_m$  подставим их в (5). Учитывая, что угол  $\alpha$  мал,  $\operatorname{tg}\alpha = \alpha$  получим

$$\alpha = \frac{\frac{(m+1)\lambda}{2\eta} - \frac{m\lambda}{2\eta}}{b} = \frac{\lambda}{2\eta b}$$

подставим числовые значения величин получим :

$$\alpha = \frac{5 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 1,6 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ рад} = 62''$$

### Задача 2.

На дифракционную решётку в направлении к её поверхности падаем монохроматический свет с длиной волн  $\lambda = 0,7$  мкм. Период решётки  $d = 2$  мкм. Какого наибольшего порядка дифракционный максимум даст эта решетка?

### Решение

Выражение для порядка дифракционного максимума можно получить на основании формула дифракционной решётки

$$d \sin \varphi = m\lambda \quad (1)$$

где  $d$  – период решётки,  $\varphi$  – угол между направлением на дифракционный максимум и нормалью к решетке (угол дифракции),  $\lambda$  – длина волны монохроматического света,  $m$  порядок дифракционного максимума.

Отсюда

$$m = \frac{d \sin \varphi}{\lambda} \quad (2)$$

Так как  $\sin \varphi$  не может быть больше 1, то из формулы (2) следует, что

$$m \leq \frac{d}{\lambda} \quad (3)$$

Подставив в формулу (3) числовые значения величин, получим

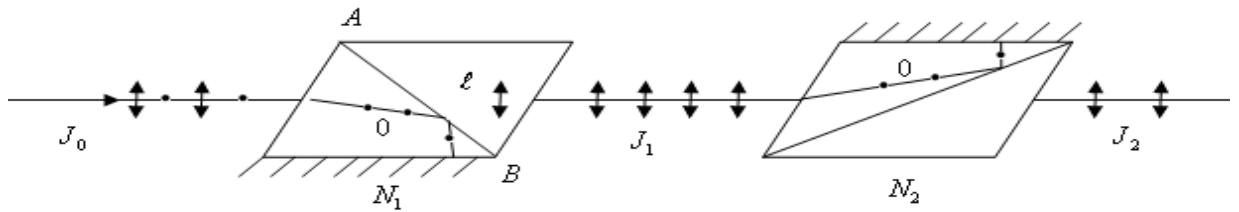
$$m \leq \frac{2}{0,7} = 2,86$$

Если учесть что порядок дифракции является целым числом, то найдем что

$$m_{\max} = 2$$

### Задача 3

Два николя  $N_1$  и  $N_2$  расположены так что угол между плоскостями поляризаторов составляет  $\alpha = 60^\circ$ . Определить во сколько раз уменьшится интенсивность  $I_0$  естественного света: 1) при прохождении через николю  $N_1$ ; При прохождении через оба николя. Коэффициент поглощения света



(рис 2.)

В никеле  $k = 0,05$ . Потери на отражении света не учитывать.

**Решение.**

1. Естественный свет, падая на грань призмы николя (рис 2.), расщепляется вследствие двойного лучепреломления на два луча: обыкновенный и необыкновенный. Оба луча одинаковы по интенсивности и полностью поляризованы. Плоскость колебания необыкновенного луча лежит в плоскости чертежа (плоскость главного сечения). Плоскость колебаний обыкновенного луча перпендикулярна к плоскости чертежа. Обыкновенный луч  $O$  вследствие полного внутреннего отражения от границы  $AB$  отбрасывается на зачерченную поверхность призмы и поглощается ею. Необыкновенный луч  $O$  проходит через призму уменьшая свою инертность вследствие поглощения.

Таким образом интенсивность света прошедшего через первую призму

$$I_1 = \frac{1}{2} I_0 (1 - k) \quad (1)$$

Относительное уменьшение интенсивности света получим, разделив интенсивность  $I_0$  естественного света, падающего на первый николь, на интенсивность  $I_1$  поляризованного света:

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{I_0}{\frac{1}{2} I_0 (1 - k)} = \frac{2}{1 - k} \quad (2)$$

Подставим во (2) числовые значения получим:

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{2}{1 - 0,05} = 2,1$$

Таким образом, интенсивность уменьшится в 2,1 раза.

2. Плоскополяризованный луч света интенсивности  $I_1$  падает на второй николь  $N_2$  и также расщепляется на два луча различной интенсивности: обыкновенный и необыкновенный. Обыкновенный луч полностью поглощается призмой, поэтому интенсивность его нас не интересует. Интенсивность необыкновенного луча  $I_2$ , вышедшего из призмы  $N_2$ , определяется законом Малюса. (без учёта поглощения света во втором никеле):

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha$$

$\alpha$  – угол между плоскостью колебания в поляризованном луче и плоскостью колебаний, пропускаемых николем  $N_2$  без ослабления.

Учитывая потери интенсивности на поглощение во втором никеле, получим :

$$I_2 = I_1 (1 - k) \cos^2 \alpha$$

Искомое уменьшение интенсивности при прохождении света через оба николя найдём, разделив интенсивность  $I_0$  на  $I_2$

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{I_0}{I_1 (1-k) \cos^2 \alpha}$$

Заменяя  $\frac{I_0}{I_2}$  его выражением по формуле (2), получим

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{\frac{I_0}{2}}{(1-k)^2 \cos^2 \alpha}$$

Подставляя данные произведём вычисления:

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{2}{(1-0,05)^2 \cos^2 60^\circ} = 8,86$$

Таким образом, после прохождения света через два николя его интенсивность уменьшается в 8,86 раз.



**Таблица вариантов к теме 12**

№ вари анта	Номера задач				№ вари- анта	Номера задач				Задачи для сам. работы
<b>1</b>	1	3	78	127	<b>26</b>	56	27	87	139	180
<b>2</b>	2	4	80	128	<b>27</b>	60	29	90	141	179
<b>3</b>	6	5	81	130	<b>28</b>	65	30	91	142	122
<b>4</b>	7	8	82	133	<b>29</b>	69	31	93	143	125
<b>5</b>	11	9	86	135	<b>30</b>	70	32	94	144	129
<b>6</b>	12	10	88	136	<b>31</b>	71	34	95	146	155
<b>7</b>	13	14	89	137	<b>32</b>	72	35	97	147	157
<b>8</b>	16	15	92	140	<b>33</b>	73	33	93	152	162
<b>9</b>	19	17	96	145	<b>34</b>	74	38	103	153	165
<b>10</b>	20	18	99	146	<b>35</b>	75	44	106	155	166
<b>11</b>	21	28	100	148	<b>36</b>	76	50	109	156	170
<b>12</b>	40	39	101	150	<b>37</b>	33	54	110	157	171
<b>13</b>	41	24	102	151	<b>38</b>	37	57	11	161	172
<b>14</b>	42	45	104	154	<b>39</b>	43	58	114	162	173
<b>14</b>	46	61	105	158	<b>40</b>	53	59	116	164	174
<b>16</b>	47	58	107	159	<b>41</b>	55	62	117	165	175
<b>17</b>	48	3	108	163	<b>42</b>	56	63	118	167	176
<b>18</b>	49	4	112	166	<b>43</b>	60	64	119	168	177
<b>19</b>	51	5	113	127	<b>44</b>	65	66	120	169	178
<b>20</b>	52	8	115	128	<b>45</b>	69	67	121	170	179
<b>21</b>	33	22	77	129	<b>46</b>	70	68	122	171	160
<b>22</b>	37	23	83	131	<b>47</b>	71	22	123	172	161
<b>23</b>	43	24	79	132	<b>48</b>	72	23	124	173	162
<b>24</b>	53	25	84	134	<b>49</b>	73	24	125	174	163
<b>25</b>	55	26	85	138	<b>50</b>	74	25	126	175	159

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ.

1. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга равно 1 мм, расстояние от щелей до экрана 3 м; расстояние между максимумами яркости двух соседних интерференционных полос 1,5 мм. Определить длину волны источника монохроматического света.

2. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света 0,5 мм, расстояние от них до экрана 3 м. Длина волны 0,6 мкм. Определить между соседними интерференционными максимумами на экране.

3. На мыльную пленку ( $n = 1,3$ ) падает нормальный пучок лучей белого света. Какова наименьшая толщина пленки, если в отраженном свете она кажется зеленой ( $\lambda = 0,55$  мкм)?

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

5. Плоско-выпуклая линза выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Определить толщину слоя воздуха тем, где в отраженном свете ( $\lambda = 0,6$  мкм) видно первое светлое кольцо Ньютона.

6. Расстояние от щелей до экрана в опыте Юнга равно 1,5 м. Определить расстояние между щелями, если на отрезке длиной 1 см укладывается 8 темных полос. Длина волны 0,6 мкм.

7. Расстояние между щелями в опыте Юнга 0,5 мм, длина волны 550 нм. Каково расстояние от щелей до экрана, если расстояние между соседними темными полосами на нем равно 1 мм?

8. На стеклянную пластинку положена выпуклой стороной плосковыпуклая линза. Сверху линзы освещается монохроматическим светом длиной волны  $\lambda = 600$  нм. Найти радиус кривизны  $R$  линзы, если радиус восьмого темного кольца Ньютона в отраженном свете  $r_8 = 2,4$  мм.

9. Для наблюдения колец Ньютона используют плосковыпуклую линзу с радиусом кривизны  $R = 160$  см. Определить радиусы четвертого и девятого темных колец в отраженном свете с длиной волны  $\lambda = 625$  нм.

10. Радиус кривизны плосковыпуклой линзы  $R = 4$  м. Чему равна длина волны  $\lambda$  падающего света, если радиус пятого светлого кольца, а в отраженном свете равен  $r_5 = 3,6$  мм?

11. Во сколько раз увеличится расстояние между соседними интерференционными полосами на экране в опыте Юнга, если зеленый светофильтр ( $\lambda_1 = 500$  нм) заменить красный ( $\lambda_2 = 650$  нм)?

12. В опыте Юнга отверстия освещались монохроматическим светом длиной волны  $\lambda = 600$  нм, расстояние между отверстиями  $d = 1$  мм и расстояние от отверстий до экрана  $L = 3$  м. Найти положение первых трех светлых полос.

13. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света было равно  $d = 0,5$  мм, расстояние до

экрана  $L = 5\text{ м}$ . В зеленом свете получились интерференционные полосы на расстоянии  $\Delta x = 5\text{ мм}$ . Друг от друга. Найти длину волны  $\lambda$  зеленого света.

14. На мыльную пленку ( $n = 1,33$ ) падает белый свет под углом  $\alpha = 45^\circ$ . При какой наименьшей толщине  $d$  пленки она в отражении света окрашена желтый цвет ( $\lambda = 600\text{ нм}$ )?

15. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом длиной волны  $\lambda = 0,6\text{ мкм}$ , падающим нормально. Найти толщину воздушного слоя между линзой и стеклянной пластинкой в том месте, где в отраженном свете наблюдается четвертое темное кольца.

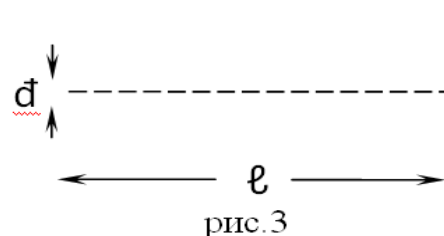
16. В схеме, предложенной Ллойдом, световая волна, падающая на экран непосредственно от светящейся щели, интерферирует с волной отразившейся от зеркала. Расстояние от щели до плоскости зеркала  $d = 1\text{ мм}$ , расстояние от щели до экране  $L = 1\text{ м}$ , длина световой волны  $\lambda = 500\text{ нм}$ . Определить ширину  $x$  интерференционной полосы.

17. На пленку толщиной  $d = 367\text{ нм}$  падает под углом  $\alpha$  параллельный пучок белого света. Показатель преломления  $n = 1,4$ . В какой цвет будет окрашен свет отраженный пленкой в случае если угол падения равен а)  $30^\circ$ , б)  $60^\circ$ ?

18. Во сколько раз возрастет радиус  $m$ -го кольца Ньютона при увеличении длины световой волны в полтора раза?

19. В установке Юнга расстояние между щелями  $d = 1,5\text{ мм}$  экран расположен на расстоянии  $L = 2\text{ м}$  от щелей. Щели освещаются источником с красным светофильтром ( $\lambda = 687\text{ нм}$ ). Определить расстояние между интерференционными полосами на экране.

20. Два точечных когерентных оптических источника, колеблющихся в фазе, находятся на расстоянии  $d = 0,5\text{ мм}$  друг от друга (рис.3). Источники дают монохроматическое излучение с длиной волны  $\lambda = 0,5\text{ мкм}$ . На расстоянии  $l = 30\text{ см}$  от источников расположен экран.



Найти расстояние между двумя соседними интерференционными максимумами.

21. Определить перемещение зеркала в интерферометре Майкельсона, если интерференционная картина сместилась на  $N = 100$  полос. Опыт проводился со светом длиной волны  $\lambda = 546\text{ нм}$ .

22. Расстояние между вторым и первым темными кольцами Ньютона в отраженном свете  $r_1 = 1\text{ мм}$ . Определить расстояние между десятым и девятым кольцами.

23. На тонкий стеклянный клин падает в направлении нормали к его поверхности монохроматический свет ( $\lambda = 600\text{ нм}$ ). Определить угол  $\gamma$  между поверхностями клина, если расстояние между соседними интерференционными минимумами в отраженном свете  $b = 4\text{ мм}$ . Показатель преломления стекла  $n = 1,5$ .

24. Определить радиус кривизны плосковыпуклой линзы, которая вместе с пластинкой позволяет наблюдать кольца Ньютона при освещении светом длиной волны  $\lambda = 589$  нм, если в отраженном свете расстояние между первым и вторым светлыми кольцами будет  $\Delta r = 0,5$  мм.

25. На стеклянный клин падает нормально пучок света длиной волны  $\lambda = 582$  нм. Угол клина  $\alpha = 20''$ . Какое число темных интерференционных полос наблюдается на одном сантиметре длины клина? Показатель преломления стекла  $n = 1,5$ .

26. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом. В отраженном свете радиусы двух соседних темных колец равны 4 мм и 4,38 мм. Радиус кривизны линзы 6,4 м. Найти порядковые номера колец и длину волны падающего света.

27. Расстояние между пятым и двадцать пятым светлыми кольцами Ньютона равно 9 мм. Радиус кривизны линзы 15 м. Найти длину волны монохроматического света, падающего нормально на установку. Наблюдение ведется в отраженном свете.

28. Темной или светлой будет в отраженном свете мыльная пленка ( $n = 1,33$ ) толщина  $d = 0,2\lambda$ ? Пленка находится в воздухе

29. Свет с длиной волны  $\lambda = 6,10^{-7}$  м падает на тонкую мыльную пленку под углом  $i = 30^\circ$ . В отраженном свете на пленке наблюдаются интерференционные полосы. Расстояние между соседними полосами равно  $x = 4$  мм. Показатель преломления мыльной пленки  $n = 1,33$ . Вычислить угол  $Y$  между поверхностями пленки.

30. В очень тонкой клиновидной пластинке в отраженном свете при нормальном падении наблюдаются интерференционные полосы. Расстояние между соседними темными полосами  $x = 5$  мм. Зная, что длина световой волны равна  $\lambda = 580$  нм, а показатель преломления пластинки  $n = 1,5$ . Найти угол между гранями пластинки.

31. Найти фокусное расстояние  $F$  плосковыпуклой линзы, примененной для получения колец Ньютона, если радиус третьего светлого кольца

$r_3 = 1,1$  мм; показатель преломления стекла  $n = 1,6$  длина световой волны  $\lambda = 589$  нм. Кольца наблюдаются в отраженном свете.

32. При наблюдении колец Ньютона в отраженном синем цвете длиной волны  $\lambda_1 = 450$  нм с помощью плосковыпуклой линзы, положенной на плоскую пластинку, радиус третьего светлого кольца оказался

$r_3 = 1,06$  мм. После замены синего светофильтра на красный был измерен радиус пятого светлого кольца, оказавшегося  $r_5 = 1,77$  мм. Найти радиус кривизны  $R$  линзы и длину волны  $\lambda_2$  красного света.

33. В точке А экрана от источника S монохроматического света длиной волны  $\lambda = 0,5$  мкм приходят два луча: непосредственно от источника луч SA и луч SBA отраженный в т. В от зеркала, параллельного луча SA. Расстояние  $h = 2$  мм. Что будет наблюдаться в точке А экрана – усиление и ослабление света, если  $l = 1$  м?

34. На толстую стеклянную пластинку, покрытую очень тонкой пленкой, показатель преломления которой  $n_2 = 1,4$  падает нормально

параллельный пучок монохроматического света с  $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ . Отраженный свет максимально ослаблен вследствие интерференции. Определите толщину  $d$  пленки.

35. Белый свет, падающий нормально на мыльную пленку ( $n = 1,33$ ) и отраженный от нее, дает в видимом спектре интерференционный максимум на волне длиной  $\lambda_1 = 630 \text{ нм}$ , и ближайший к нему минимум на волне  $\lambda_2 = 450 \text{ нм}$ . Какова толщина пленки, если считать ее постоянной?

36. Между краями двух хорошо отшлифованных плоских пластинок помещена тонкая проволока диаметром  $0,05 \text{ мм}$ , противоположные концы пластинок прижаты друг к другу (рис.5). Пластинки освещаются нормально к поверхности. На пластинке длиной  $10 \text{ см}$  наблюдатель видит интерференционные полосы, расстояние между которыми равно  $0,6 \text{ мм}$ . Найти длину волны.

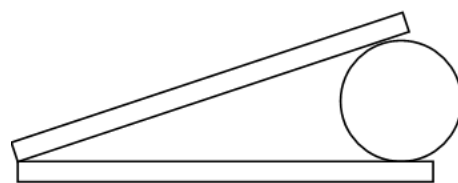


рис.5

37. В оба пучка света интерферометра поместили цилиндрические трубки длиной  $10 \text{ см}$  каждая, закрытые с торцов прозрачными плоскопараллельными пластинами. Сначала из трубок был выкачен воздух, потом в одну из них одну впустили водород, и интерференционная картина сместилась на  $47,5$  полос. Каков показатель преломления водорода? Опыт проводится в свете с длиной волны  $590 \text{ нм}$ .

38. Свет с длиной волны  $\lambda = 0,55 \text{ мкм}$  падает на поверхность стеклянного клина под углом  $i = 15^\circ$ . Показатель преломления стекла  $n = 1,5$ , угол при вершине клина  $\alpha = 11^\circ$ . Определить расстояние между двумя соседними минимумами при наблюдении интерференции в отраженном свете.

39. На плоскопараллельную пленку с показателем преломления  $n = 1,3$  падает нормально пучок белого света. При какой наименьшей толщине пленки она будет наиболее прозрачна для света с длиной волны  $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ ?

40. Расстояние между когерентными источниками света  $S_1$  и  $S_2$  в воздухе  $d = 0,15 \text{ мм}$  (рис.6). Расстояние от этих источников до экрана  $l = 4,8 \text{ м}$ . Определить оптическую разность хода лучей, приходящих в точку экрана  $C$ , если  $\theta_C$  равно  $\Delta x = 16 \text{ мм}$ .

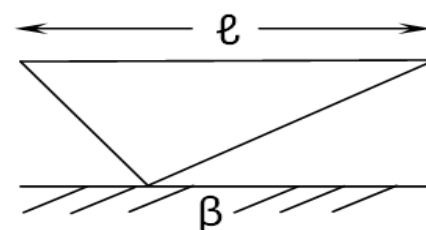


рис.6

41. В некоторую точку пространства приходят пучки когерентного излучения с оптической разностью хода  $2 \text{ мкм}$ . Определить, произойдет в этой точке усиление или ослабление света с длиной волны  $760 \text{ нм}$ .

42. С подобья призмы Френеля получены две мнимых источника  $S_1$  и  $S_2$  монохроматического света с длиной волны  $560 \text{ нм}$ . Их расстояние от экране  $l = 3,2 \text{ м}$ . На расстоянии  $x = 28 \text{ мм}$  от центра экрана проходит третья темная полоса, считая от центральной полосы. Определить расстояние между мнимыми источниками.

43. Когерентные источники белого света, расстояние между которыми 0,32 мм, имеют вид узких щелей. Экран, на котором наблюдают интерференцию света от этих источников, находится на расстоянии 3,2 м от них. Найти расстояние между красной ( $\lambda_2 = 760$  нм) и фиолетовой ( $\lambda_2 = 400$  нм) линиями второго интерференционного спектра на экране.

44. При освещении кварцевого клина ( $n = 1,54$ ) с углом  $i = 5^\circ$  монохроматическими лучами с  $\lambda = 600$  нм, перпендикулярными к его поверхности, наблюдаются интерференционные полосы. Определить ширину этих полос.

45. Определить диаметр второго светлого кольца Ньютона, наблюдаемого в отраженном свете с длиной волны 640 нм, если радиус кривизны линзы, равен  $R = 6,4$  м, свет падает нормально к плоской поверхности линзы, пространство между линзой и пластинкой заполнено водой ( $n = 1,33$ ).

46. В опыте Ллойда в качестве отражающей взята поверхность стеклянной пластинки, а источником света служит параллельная ей щель, середина которой находится на расстоянии  $d = 1$  мм от продолжения отражающей поверхности. Экран находится на расстоянии  $l = 4$  м от щели,

$\lambda = 700$  нм. На каком расстоянии от середины центральной полосы будет третья светлая полоса?

47. Во сколько раз в опыте Юнга нужно изменить расстояние до экрана, чтобы 5-я светлая полоса новой интерференционной картины оказалась на том же расстоянии от нулевой, что и 3-я в прежней картине?

48. На пути одного из интерферирующих лучей помещается стеклянная пластинка толщиной  $d = 12$  мкм. Определить на сколько полос сместится интерференционная картина, если показатель преломления стекла  $n = 1,5$ , длина волны  $\lambda = 750$  нм, и свет падает на пластинку нормально.

49. Найти все длины волн видимого света (от 0,76 до 0,38 мкм), которые будут максимально усилены при оптической разности хода интерферирующих волн, равно  $\Delta = 1,8$  мкм.

50. Две плоскопараллельные стеклянные пластинки приложены одна к другой так, что между ними образовался воздушный клин с углом  $\alpha = 30^\circ$ . На одну из пластинок падает нормально монохроматический свет

( $\lambda = 0,6$  мкм). На каком расстоянии от линии соприкосновения пластинок будет наблюдаться в отраженном свете вторая светлая полоса?

51. В некоторую точку пространства приходят когерентные лучи с геометрической разностью хода  $\Delta = 1,2$  мкм. Длина волны света в вакууме  $\lambda = 600$  нм. Определить, что произойдет в этой точке вследствие интерференции в стекле с показателем преломления  $n = 1,5$ .

52. Экран освещается светом с длиной волны  $\lambda = 590$  нм, идущим от двух когерентных источников  $S_1$  и  $S_2$ , расстояние между которыми

$d = 200$  мкм. На расстоянии  $X = 15$  мм от центра, экрана проходит 2-я темная интерференционная полоса, считая от центральной. Определить расстояние  $l$  от мнимых источников до экрана.

53. Какой должна быть, толщина пластинки при  $n = 1,6$  и  $\lambda = 550$  нм, если с введением пластинки на пути одного из интерферирующих лучей картина смещается на 4 полосы?

54. Диаметр двух светлых колец Ньютона  $d_i$  и  $d_k$  соответственно равны 4 мм 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 с  $\lambda = 500$  нм. Найти радиус кривизны плоско-выпуклой линзы, взятой для опыта.

55. При наблюдении интерференции света от двух мнимых источников монохроматического света с  $\lambda = 520$  нм оказалось, что на экране длиной  $X = 4$  см уменьшается 8,5 полосы. Определить расстояние между источниками света, если от них до экрана  $l = 2,75$  м.

56. В опыте Юнга вначале берется свет с длиной волны  $\lambda_1 = 600$  нм, а затем  $\lambda_2$ . Какова длина волны во втором случае, если 7-я светлая полоса в первом случае совпадает с 10-й темной во второй?

57. Какова наименьшая возможная толщина плоскопараллельной пластинки с показателем преломления  $n = 1,5$ , если при освещении белым светом под углами  $i_1 = 45^\circ$  и  $i_2 = 60^\circ$  она кажется красной ( $\lambda = 0,74$  мкм)?

58. На установке для наблюдения колец Ньютона был измерен в отраженном свете радиус третьего темного кольца. Когда пространство между плоскопараллельной пластинкой и линзой заполнили жидкостью, то тот же радиус стало иметь кольцо с номером на единицу большим. Определить показатель преломления жидкости  $n$  жидкости.

59. Для измерения толщина волоса его положили на стеклянную пластинку и сверху прикрыли другой пластинкой. Расстояние от волоса до линии соприкосновения пластинок, которой он параллелен,  $l = 20$  см. При освещении пластинок красным светом ( $\lambda = 750$  нм) на 1 см умещается 8 полос. Определить толщину волоса.

60. Два когерентных источника света, расстояние между которыми  $d = 0,24$  мм, удалены от экрана на  $l = 2,5$  м. На экране на расстоянии  $x = 5,0$  см умещается 10,5 полосы. Чему равна длина волны падающего на экран света?

61. Найти радиус  $r$  центрального темного пятна колец Ньютона, если между линзой и пластинкой налит бензол ( $n = 1,5$ ), радиус кривизны линзы  $R = 1$  м. Показатели преломления линзы и пластинки одинаковы. Наблюдение ведется в отраженном свете с длиной волны  $\lambda = 589$  нм.

62. В установке для наблюдения колец Ньютона пространство между линзой ( $n_1 = 1,50$ ) и пластинкой ( $n_2 = 1,70$ ) заполнено анилином ( $n_3 = 1,58$ ). Радиус четвертого темного кольца в отраженном свете равен  $r_4 = 0,13$  см. Установка освещается монохроматическим светом, который падает нормально. Радиус кривизны линзы  $R = 1$  м. Определите длину волны падающего света.

63. Мыльная пленка ( $n = 1,33$ ), расположенная вертикально, образует клин, вследствие отекания жидкости. Расстояние между первым и шестым

интерференционными минимумами равно  $x = 2,5$  см. Наблюдение ведется в отраженном свете для желтой линии ртути дуги ( $\lambda = 613$  нм) по направлению нормали к поверхности пленки. Определите угол клина в секундах.

64. Монохроматический свет падает нормально на поверхность стеклянного клина ( $n = 1,5$ ). Угол между гранями клина равен  $\alpha = 2'$ . Расстояние между соседними темными интерференционными полосами, которые наблюдаются в отраженном свете, равно  $\Delta x = 0,34$  мм. Определите длину волны падающего света.

65. Зеркала, Френеля освещаются монохроматическим светом ( $\lambda = 589$  нм). Если на пути одного из пучков лучей перпендикулярно поставить к нему тонкую стеклянную пластинку, то интерференционная картина сместится на 100 полос. (Показатель преломления стекла относительно воздуха  $n = 1,5$ ). Определите толщину пластинки.

66. Между двумя стеклянными пластинками, параллельно линии их соприкосновения, попал волос диаметром  $d = 0,04$  мм. На пластинки падает нормально свет с длиной волны  $\lambda = 0,8$  мкм. Определите расстояние от волоса до вершины края того клина, если в отраженном свете на 1 см длины клина приходится 10 темных интерференционных полос.

67. В установке для наблюдения колец Ньютона пространство между линзой ( $n_1 = 1,70$ ) и пластинкой ( $n_2 = 1,70$ ) заполнено водой ( $n_3 = 1,33$ ). Диаметр одного из темных колец в отраженном свете оказался равным 0,3 см. Установка освещается монохроматическим светом

( $\lambda = 0,6$  мкм), который падает нормально. Радиус кривизны линзы 1 м. Определите порядковый номер кольца.

68. В установке для наблюдения колец Ньютона пространство между линзой ( $n_1 = 1,70$ ) и пластинкой ( $n_2 = 1,50$ ) заполнено водой

( $n_3 = 1,33$ ). Радиус пятого темного кольца в отраженном свете равен 0,15 см. Установка освещается монохроматическим светом ( $\lambda = 0,6$  мкм), который падает нормально. Определите радиус кривизны линзы.

69. В опыте Юнга стеклянная пластинка толщиной

$d = 2$  см помещается на пути одного из интерферирующих лучей перпендикулярно ему. На сколько могут отличаться друг от друга значения показателя преломления в различных местах пластинки, чтобы изменения разности хода от этой неоднородности не  $\Delta = 1$  мкм?

70. В опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей помещалась тонкая стеклянная пластинка, вследствие чего центральная светлая полоса смещалась в положение, первоначально занятое пятой светлой полосой (не считая центральной). Луч падает на пластинку перпендикулярно. Показатель преломления пластинки  $n = 1,5$ . Длина волны  $\lambda = 600$  нм. Какова толщина  $d$  пластинки?

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



72. На пути монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 600$  нм находится плоскопараллельная стеклянная пластинка толщиной  $d = 0.1$  нм. Свет падает на пластинку нормально. На какой угол  $\varphi$  следует повернуть пластинку, чтобы оптическая длина пути изменилась на  $\lambda/2$ .

73. На бипризму Френеля падает свет ( $\lambda = 600$  нм) от источника. Найти расстояние между соседними интерференционными максимумами, образующимися на экране в результате интерференции, если расстояние от источника от призмы до экрана  $b = 4$  м. Преломляющий угол призмы  $\varphi = 2 \cdot 10^{-3}$  рад, показатель преломления ее вещества  $n = 1,5$ .

74. На зеркале Френеля, поставленные под углом  $\alpha = 10^\circ$  падает свет от щели, находящейся на расстоянии  $r = 10$  см от линии пересечения зеркал. Длина волны источника " $\lambda = 600$  нм". Отраженный от зеркал свет дает интерференционную картину на экране, расположенном на расстоянии,  $L = 270$  см от линии пересечения зеркал. Определить расстояние между интерференционными полосами на экране.



75. Определить угол между зеркалами Френеля, если расстояние между максимумами интерференции на экране равно  $\Delta x = 1$  мм, расстояние от линии пересечения зеркал до экрана  $L = 1$  м, а до источника  $r = 10$  см. Длина волны монохроматического света  $\lambda = 0,486$  мкм. Интерферирующие лучи падают на экран нормально.

76. Пучок лазерного излучения с  $\lambda = 632,8$  нм падает по нормали, на преграду с двумя узкими щелями, расстояние между которыми  $d = 5$  мм. На экране, установленном за преградой, наблюдается система интерференционных полос, На какое число полос сместится интерференционная картина, если одну из щелей перекрыть прозрачной пластинкой толщины  $a = 10$  мкм, изготовленной из материала с показателем преломления  $n = 1,633$ ?

77. Вычислить радиусы первых трех зон Френеля для случая плоской волны. Расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения 1 м. Длина волны  $\lambda = 500$  нм.

78. На щель шириной  $b = 2$  мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 589$  нм. Найти углы, и направлении которых будет наблюдаться минимумы света.

79. На щель шириной  $b = 2 \cdot 10^{-3}$  см падает нормально параллельный пучок монохроматического света длиной волны  $\lambda = 500$  нм. Найти ширину изображения щели на экране, удаленном от щели на 1 м. Шириной изображения считать расстояние между первыми дифракционными минимумами, расположенными по обе стороны от главного максимума освещенности.

80. На щель падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ . Ширина щели  $6\lambda$ . Под каким углом будет наблюдаться третий дифракционный минимум света?

81. Чему равна постоянная дифракционной решетки, если для того, чтобы увидеть красную линию ( $\lambda = 700$  нм) в спектре второго порядка, зрительную трубу пришлось установить под углом  $30^\circ$  к оси коллиматора? Свет падает нормально к решетке.

82. Сколько штрихов на один миллиметр длины имеет дифракционная решетка, если зелёная линия ртути ( $\lambda = 546$  нм) в спектре первого порядка наблюдается под углом  $\varphi = 19^\circ 8'$ ?

83. На дифракционную решетку падает нормально пучок белого света. Угол дифракции для света длиной  $\lambda_1 = 589$  нм в спектре равен  $\varphi_1 = 17^\circ 8'$ . Некоторая линия дает в спектре второго порядка угол дифракции  $\varphi_2 = 24^\circ 12'$ . Найти длину волны этой линии.

84. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию в спектре третьего порядка, накладывается красная линия ( $\lambda_1 = 670$  нм) спектра второго порядка?

85. Найти наибольший порядок спектра для желтой линии натрия ( $\lambda = 589$  нм), если постоянная решетки  $d = 2$  мкм.

86. На дифракционную решетку нормально падает пучок монохроматического света. Максимум третьего порядка наблюдается под углом  $\varphi = 36^\circ 48'$ . Найти постоянную решётку, выраженную в длинах волн.

87. Чему равна постоянная дифракционной решетки, если эта решетка может разрешить в первом порядке линии спектра калия  $\lambda_1 = 404,4$  нм и  $\lambda_2 = 404,7$  нм? Ширина решетки  $l = 3$  см.

88. Постоянная дифракционной решетки шириной  $l = 2,5$  см равна  $d = 2$  мкм. Какую разность длин волн может разрешить эта решетка в области желтых лучей ( $\lambda = 600$  нм) в спектре 2-го порядка.

89. Какой должна быть ширина щели, что бы первый дифракционный минимум наблюдался под углом  $\varphi = 90^\circ$  при освещении светом длиной  $\lambda = 440$  нм?

90. Период дифракционной решетки  $d = 0,005$  мм. Определить число наблюдаемых главных максимумов в спектре цифр, решетки для света с длиной волны  $\lambda = 760$  нм.

91. Дифракционная решетка имеет ширину  $B = 3$  мм и период  $d = 3$  мкм. Определить ее максимальную разрешающую способность для длины волны  $\lambda = 589,6$  нм.

92. Какое наименьшее число штрихов должна содержать решетка, чтобы в спектре первого порядка можно было видеть отдельно две жёлтые линии натрия с длинами волн  $\lambda_1 = 589$  нм и  $\lambda_2 = 589,6$  нм?

93. На дифракционную решетку, содержащую 100 штрихов на каждый миллиметр, падает нормально монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум третьего порядка. Чтобы навести трубу на другой максимум того же порядка, ее нужно повернуть на угол  $\varphi = 20^\circ$ . Определить длину световой волны.

94. Дифракционная решетка, освещенная нормально падающим монохроматическим светом, склоняет спектр 2-го порядка на угол  $\varphi = 14^\circ$ . На какой угол отклоняет она спектр третьего порядка?

95. Дифракционная решетка содержит 200 штрихов на миллиметр. На решетку падает нормально монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм? Найти угол отклонения последнего максимума.

96. Вычислить радиус 1-й зоны Френеля, если расстояние от источника до зонной пластинки равно,  $a = 10$  м и расстояние от пластинки до места наблюдения равно  $b = 10$  м. Длина световой волны  $\lambda = 450$  нм.

97. Зонная пластинка дает изображение источника, удаленного от нее на  $a = 3$  м, на расстоянии  $b = 2$  м от своей поверхности. Где получится изображение источника, если его отодвинуть в бесконечность?

98. Параллельный пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 600$  нм нормально падает на непрозрачный экран с круглым отверстием диаметром  $d = 1,2$  мм, на расстоянии  $b_1 = 18$  см за экраном на оси отверстия наблюдается темное пятно. На какое минимальное расстояние  $\Delta b$  нужно сместиться от этой точки вдоль оси отверстия, удаляясь от него чтобы в центре дифракционной картины вновь наблюдалась темное пятно?

99. Подсчитать угловую дисперсию в спектре первого порядка для решетки имеющей 3937 штрихов на 1 см. Углы дифракции считать малыми.

100. Подсчитать линейную дисперсию спектрографа с дифракционной решеткой имеющей 3937 штрихов на 1 см, при объективе с фокусным расстоянием  $F = 50$  см. Наблюдение ведется в спектре первого порядка. Углы дифракции считать малыми.

101. Какова разрешающая сила дифракционной решетки с периодом  $d = 2,5$  мкм и шириной  $l = 3$  см в спектре четвертого порядка?

102. Дифракционная решетка имеет 5 000 штрихов на 1 см. Какой максимальный порядок спектра "m" можно получить от такой решетки при освещении света с длиной волны  $\lambda = 589$  нм?

103. Падающий на дифракционную решетку свет состоит из двух резких спектральных линий с длинами волн  $\lambda_1 = 490$  нм и  $\lambda_2 = 600$  нм. Первый дифракционный максимум для линии с длиной волны  $\lambda_1$  располагается под углом  $\varphi = 10^\circ$ . Найти угловое расстояние между линиями в спектре 2-го порядка.

104. Будут ли разрешены дифракционной решеткой с  $N = 100$  штрихов спектральные линии с  $\lambda_1 = 589$  нм и  $\lambda_2 = 602$  нм в спектре первого порядка?

105. Период дифракционной решетки  $d = 1000$  нм. Вычислить угловую дисперсию в спектре первого порядка в окрестности длин волн: а) 400 нм, б) 580 нм, в) 760 нм.

106. На щель шириной  $b = 0,2$  мм падает свет с длиной волны  $\lambda = 500$  нм. Определить расстояние между 1-м и 2-м дифракционными максимумами на экране, расположенном на расстоянии  $L = 1$  м от щели.

107. Какова длина волны  $\lambda$  монохроматического рентгеновского излучения, падающего на кристалл кальцита, если дифракционный максимум

первого порядке наблюдается, когда угол  $\alpha$  между направлением падающего излучения и гранью кристалла равен  $\alpha = 3^\circ$ ? Расстояние  $d$  между атомными плоскостями кристалла принять равным  $d = 0,3$  нм.

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

109. На щель шириной  $b = 0,1$  мм падает нормально параллельный пучок монохроматического света ( $\lambda = 0,5$  мкм). За щель помещена собирающая линза, в фокальной плоскости которой находится экран. Что будет наблюдаться на экране, если угол дифракции равен  $\varphi = 43^\circ$ ?

110. Две дифракционные решетки имеют одинаковую ширину  $l = 3$  мм, но разные периоды:  $d_1 = 10^{-3}$  мм и  $d_2 = 6 \cdot 10^{-3}$  мм. Определить их наибольшую разрешающую способность для желтой линии натрия  $\lambda = 589,6$  нм.

111. Радиус  $s$  четвертой зоны Френеля для плоского волнового фронта равен  $r = 3$  мм, определить радиус шестой зоны Френеля.

112. Под углом  $\varphi = 30^\circ$  наблюдается 4 максимум для красной линии кадмия

( $\lambda = 644$  нм). Определить период дифракционной решетки  $d$  и ее ширину, если наименьшее разрешаемое решеткой отклонение здесь составляет  $\delta\lambda = 0,322$  нм.

113. Точечный источник света с длиной волны  $\lambda = 500$  нм помещен на расстоянии,  $a = 0,5$  м перед непрозрачной преградой с отверстием радиуса  $r = 0,5$  мм. Определить расстояние "в" от преграды до точки наблюдения, для которой число открываемых отверстием зон Френеля будет  $m = 5$ .

114. На плоскую отражательную решетку, содержащую  $N = 50000$  штрихов падает желтый свет ( $\lambda = 589$  нм). Каково минимальное расстояние  $\delta\lambda$  между спектральными линиями, которое способна разрешить решетка в спектре третьего порядка?

115. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения ( $\lambda = 147$  нм). Определить расстояние  $d$  между атомными плоскостями кристалла, если дифракционный максимум второго порядка наблюдается, когда излучение падает под углом  $\theta = 31^\circ 30'$  к поверхности кристалла.

116. На диафрагму с круглым отверстием диаметром  $d = 4$  мм падает нормально параллельный пучок монохроматического света ( $\lambda = 0,5$  мкм). Точка наблюдения находится на оси отверстия на расстоянии  $b = 1$  м от него. Сколько зон Френеля укладывается в отверстии?

117. На дифракционную решетку, содержащую  $n = 500$  штрихов на 1 мм, падает в направлении нормали к ее поверхности белый свет. Спектр проектируется помещенной вблизи решетки линзой на экран. Определить ширину  $\Delta l$  спектра первого порядка на экране, если  $\lambda_{кр} = 780$  нм,  $\lambda_{сп} = 400$  нм, а расстояние от линзы до экрана  $L = 3$  м.

118. Спектр дифракционной решетки со 100 штрихами на 1 мм проектируется на экран, расположенный параллельно решетке на расстоянии  $L = 1,8$  м от нее. Определить длину волны монохроматического света падающего на решетку, если расстояние от спектра второго порядка до центральной полосы  $l = 21,4$  см.

119. На дифракционную решетку падает плоская волна, фронт которой параллелен плоскости решетки. Общее число штрихов решетки  $N = 1000$ , период  $d = 5,1 \cdot 10^{-3}$  мм. Падающей свет содержит две длины волны:  $\lambda_1 = 460$  нм и  $\lambda_2 = 460,2$  нм. Начиная с какого порядка спектра эти линии, будут разрешены.

120. На непрозрачную преграду с отверстием радиуса  $r = 1$  мм падает монохроматическая плоская волна. Когда расстояние от преграды до установленного за ней экрана равно  $v_1 = 0,575$  м, в центре дифракционной картины наблюдается максимум интенсивности. При увеличении расстояния до значения  $b_2 = 0,862$  м максимум интенсивности сменяется минимумом. Определите длину волны  $\lambda$  света.

121. Определить длину волны, падающей на дифракционную решетку, на каждом миллиметре которой нанесено 400 штрихов. Дифракционная решетка расположена на расстоянии  $L = 25$  см от экрана. При измерении на экране оказалось, что расстояние между линиями третьего порядка справа и слева от нулевой равно  $l = 27,4$  см.

122. Угловая дисперсия  $D_\varphi$  дифракционной решетки для излучения некоторой длины волны (при малых углах дифракции) составляет 1 угл. мин/нм. Определить разрешающую силу  $R$  этой решетки для излучения той же длины волны, если длина решетки  $l = 2$  см.

123. Пучок параллельных лучей падает нормально на дифракционную решетку. Фокусное расстояние линзы, расположенной непосредственно за решеткой и проектирующей спектр на экран равно  $F = 2,5$  м. Две линии с длинами волн  $\lambda_1 = 0,434$  мкм и  $\lambda_2 = 0,48$  мкм в спектре первого порядка находятся на расстоянии  $\Delta l = 0,5$  мм друг от друга. Определите постоянную дифракционной решетки (для малых углов принять  $\sin\varphi \approx \tan\varphi$ ).

124. Дифракционная решетка (на 1 мм длины внесено 200 штрихов) освещается нормально падающим пучком параллельных лучей света от разрядной трубки, наполненной водородом. Под каким минимальным углом к направлению падающего света нужно поставить зрительную трубу, чтобы в поле зрения совпали линии водорода с длинами волн 656,3 нм и 410,2 нм ?

125. Пучок параллельных лучей монохроматического света ( $\lambda = 0,53$  мкм) падает нормально на узкую щель. Ширина центрального максимума, если ее принять равной расстоянию между соседними минимумами, равна  $l = 1,5$  см. Фокусное расстояние линзы, расположенной непосредственно за и проецирующей дифракционную картину на экран, равно  $L = 2$  м. Определите ширину щели (для малых углов принять  $\sin\varphi = \tan\varphi$ ).

126. Пучок параллельных лучей монохроматического света падает нормально на щель шириной  $b = 0,2$  мм. Фокусное расстояние линзы, расположенной непосредственно за щелью и проектирующей дифракционную картину на экран, равно  $F = 2$  м. Ширина второго максимума, если ее принять равной расстоянию между двумя соседними минимумами, равна  $l = 0,53$  см. Определите длину волны падающего на щель света (для малых углов принять  $\sin\varphi = \operatorname{tg}\varphi$ ).

127. Угол падения луча на поверхность жидкости  $i = 50^\circ$ . Отраженный луч максимально поляризован. Определить угол преломления луча.

128. Луч света, идущий в стеклянном сосуде с водой отражается от дна сосуда. При каком угле падения отраженный луч максимально поляризован?

129. При прохождении света через трубку длиной  $l_1 = 15$  см, содержащую десятипроцентный раствор сахара, плоскость поляризации повернулась на угол  $\varphi_1 = 12,9^\circ$ . В другом растворе сахара, налитом в трубку длиной  $l_2 = 12$  см, плоскость поляризации повернулась на угол  $\varphi_2 = 7,2^\circ$ . Определить концентрацию второго раствора.

130. Между скрещенными николями поместили пластинку кварца толщиной  $d = 3$  мм, в результате чего поле зрения поляриметра стало максимально светлым. Определить постоянную вращения кварца для монохроматического света, использованного в опыте.

131. Пластинку кварца толщиной  $d = 1,5$  мм поместили между параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на угол  $\varphi_1 = 27^\circ$ . Какой наименьшей толщины следует взять пластинку, чтобы поле зрения поляриметра стало совершенно темным?

132. Угол между плоскостями поляризатора и анализатора равен  $\alpha = 60^\circ$ . Естественный свет проходя через такую систему ослабляется в  $n = 10$  раз, пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения  $k$  света в поляроидах.

133. Анализатор в два раза уменьшает интенсивность света, приходящего к нему от поляризатора. Определить угол между оптическими плоскостями поляризатора и анализатора. Потерями света в анализаторе можно пренебречь.

134. Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора равен  $\alpha_1 = 45^\circ$ . Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до  $\alpha_2 = 60^\circ$ ? Потерями света в анализаторе пренебречь.

135. Во сколько раз ослабляется свет, проходя через два николя, плоскости поляризации которых составляет угол  $\alpha = 30^\circ$ ? Потерями света в николях пренебречь.

136. Угол поворота плоскости поляризации желтого света при прохождении через трубку с раствором сахара  $\varphi = 40^\circ$ . Длина трубки  $l = 15$  см. Удельное вращение сахара  $[\alpha] = 66,5 \frac{\text{град}}{\text{дм}}$ . Определить концентрацию сахара в растворе.

137. Определить угол полной поляризации при отражении от стекла, показатель преломления которого  $n = 1,57$ .
138. Чему равен показатель преломления стекла  $n$ , если при отражении от него света, отраженный луч будет полностью поляризован при угле преломления  $r = 30^\circ$ ?
139. Чему равен угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор уменьшилась в 12 раз? Поглощением и отражением света пренебречь.
140. Пучок естественного света, длина волны которого  $\lambda = 589$  нм падает на кристалл исландского шпата. Определить длину волны обыкновенного ( $n_o = 1,66$ ) и необыкновенного ( $n_e = 1,49$ ) лучей в кристалле.
141. Угол между плоскостями поляризации, двух николей был равен  $60^\circ$ . После поворота анализатора на некоторый угол интенсивность света, прошедшего через николю, увеличилась в 3 раза. Определить значение угла между плоскостями поляризации николей во втором случае.
142. Луч естественного света падает на грань кристалла. Угол преломления луча равен  $r = 33^\circ$ . Отраженный луч максимально поляризован. Определить скорость распространения света в кристалле?
143. Луч естественного света падает на кристалл каменной соли. Скорость распространения света в этом кристалле равна  $v = 1,95 \cdot 10^8$  м/с. Определять угол падения луча, при котором отраженный луч максимально поляризован.
144. При прохождении двух николей интенсивность света уменьшается в 4,4 раза. Каждый николю поглощает 5% падающего на него света. Определить угол между плоскостями поляризации николей в данном случае. Потерями света на отражение пренебречь.
145. Определить, какой толщины пластинку кварца нужно поместить между скрещенными николями, чтобы поле зрения стало максимально светлым. Николи освещаются жёлтым светом, для которого постоянная вращения кварца равна  $\alpha = 22^\circ$  на 1 мм.
146. На стеклянную пластинку ( $n = 1,6$ ), находящуюся в жидкости, падает луч естественного света. Отраженный луч максимально поляризован и составляет угол  $\gamma = 100^\circ$ , с падающим лучом. Определите скорость распространения света в этой жидкости.
147. На грань алмаза, находящегося в воде, падает луч естественного света. Определить показатель преломления алмаза, если отраженный луч максимально поляризован при угле падения света  $i = 61^\circ$ . Показатель преломления воды  $n = 1,33$ .
148. Раствор жидкости с концентрацией  $c = 0,25$  г/см<sup>3</sup>, налитый в трубку длиной  $l = 80$  мм поворачивает плоскость поляризации монохроматического света на угол  $\varphi = 32^\circ$ . Определить удельное вращение жидкости для данного монохроматического света.

149. Определить во сколько раз изменится интенсивность света, прошедшего через призму никеля, если призма освещается естественным светом и поглощает 6% падающего на ней света.

150. Определить, под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы поляризация солнечного света, отраженного от поверхности воды ( $n = 1,3$ ) была максимальной.

151. Чему равна степень поляризации света  $P$ , представляющего собой смесь естественного света с плоско поляризованным, если отношение интенсивности поляризованного света к интенсивности естественного равно  $(I_n / I_0) = 1$  ?

152. Плоско поляризованный свет интенсивности  $I_0 = 100 \text{ Вт/м}^2$  проходит последовательно через два совершенных поляризатора, плоскости которых образуют с плоскостью колебаний в исходном луче угла  $d_1 = 20^\circ$  и  $d_2 = 50^\circ$ . Определить интенсивность света  $I$  по выходе из второго поляризатора.

153. Найти наименьшую толщину  $d$  пластинки кварца, вырезанной параллельно оптической оси, чтобы падающий плоско поляризованный свет выходил поляризованным по кругу ( $n = 1,5533$ ,  $n_0 = 1,5442$ ,  $\lambda = 5, 10^{-7} \text{ м}$ ).

154. Пучок естественного света падает на полированную поверхность стеклянной пластинки, погруженной в жидкость. Отраженный от пластинки пучок света составляет угол  $\varphi = 97^\circ$  с падающим пучком. Определить показатель преломления  $n$  жидкости, если отраженный свет полностью поляризован.

155. Пучок частично поляризованного света рассматривается через николь. Первоначально николь установлен так, что его плоскость пропускания параллельна плоскости колебаний линейно-поляризованного света. При повороте никеля на угол  $\varphi = 60^\circ$  интенсивность пропускаемого им света уменьшилась в два раза. Определить отношение  $I_e / I_n$  интенсивностей естественного света и линейно поляризованного света, составляющих данный, частично поляризованный свет.

156. В частично поляризованном свете амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в  $n = 2$  раза больше амплитуды, соответствующей минимальной интенсивности. Определить степень поляризации  $P$  света.

157. На систему, состоящую из 2-х поляроидов, у которых угол между оптическими осями составляет угол  $\varphi = 45^\circ$ , падает естественный свет. Во сколько раз уменьшится интенсивность светового пучка? Потери света в каждом поляроиде составляли 10%.

158. Луч света, идущей в стеклянном сосуде ( $n = 1,5$ ) с жидкостью отражается от дна сосуда. При угле падения  $i = 48^\circ 12'$  отраженный луч максимально поляризован. Найти показатель преломления жидкости.

159. Угол Брюстера  $i_B$  при падении света из воздуха на кристалл каменной соли равен  $i_B = 57^\circ$ . Определить скорость света в этом кристалле.



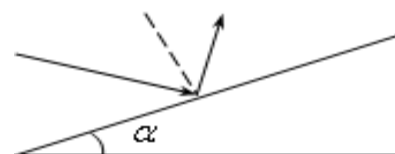
160. Степень поляризации  $P$  частично поляризованного света равна  $P = 0,5$ . Во сколько раз отличается максимальная интенсивность света, пропускаемого через анализатор, от минимальной?

161. Предельный угол  $i_c$  полного отражения пучка света на границе жидкости с воздухом равен  $43^\circ$ . Определить угол Брюстера  $i_B$  для падения луча из воздуха на поверхность этой жидкости.

162. На пути частично поляризованного света, степень поляризации которого равна  $P = 0,6$ , поставили анализатор так, что интенсивность света, прошедшего через него, стала максимальной. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, если плоскость пропускания анализатора повернуть на  $\alpha = 30^\circ$ ?

163. Угол Брюстера для падения луча света из воздуха на поверхность жидкости равен  $i_B = 55^\circ 45'$ . Чему равен угол  $i_0$  полного отражения света на границе этой жидкости с воздухом.

164. Пучок естественного света падает на стеклянную ( $n = 1,6$ ) призму, как показано на рисунке. Определить угол  $\alpha$  призмы, если отраженный пучок максимально поляризован.

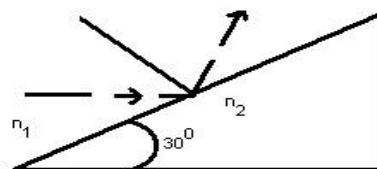


на

165. На николю падает пучок частично поляризованного света. При некотором положении николя интенсивность света, прошедшего через него, стала минимальной. Когда плоскость пропускания николя повернули на угол  $\alpha = 45^\circ$ . Интенсивность света возросла в  $n = 1,5$  раза. Определить степень поляризации  $P$  света.

166. Луч света переходит из глицерина ( $n_1 = 1,47$ ) в стекле ( $n_2 = 1,5$ ) так, что луч отраженный от границы раздела этих сред, оказывается максимально поляризованным. Определить угол  $\gamma$  между падающим, и преломленным лучами.

167. Алмазная призма ( $n_2 = 2,42$ ) находится в некоторой среде с показателем преломления. Пучок естественного света падает на призму так, как показано на рисунке 9. Определить показатель преломления  $n_1$  среды, если отраженный пучок максимально поляризован.



168. Естественный луч падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку ( $n = 1,52$ ), так что отраженный луч максимально поляризован. Какую часть интенсивности падающего естественного света составляет при этом интенсивность отраженного луча?

169. Определить коэффициент отражения стекла, показатель преломления которого  $n = 1,5$ , при условии, что естественный луч падает на его поверхность под углом Брюстера.

170. На пути пучка естественного света поместили два одинаковых поляризованных приспособления. Оказалось, что при параллельных плоскостях поляризации эта система пропускает в 10 раз больше света, чем при скрещенных. Определить степень поляризации  $P$ , которую создает каждое

приспособление в отдельности и вся система в параллельных плоскостях поляризации.

171\*. Источник света диаметра  $d = 30$  см находится от места наблюдения на расстоянии  $l = 200$  м. В излучении источника содержатся длины волн в интервале от  $\lambda_1 = 490$  нм до  $\lambda_2 = 510$  нм. Определить для этого излучения: а) время когерентности  $t_{\text{ког}}$  б) длину когерентности  $l$ ; в) радиус когерентности  $r_{\text{ког}}$ ;

172\*. Угловой диаметр звезды Бетельгейза равен  $\Delta\varphi = 0,047$  угловой секунды. Чему равен угол когерентности  $\rho k$  света, приходящего на Землю от этой звезды?

173\*. Клиновидная пластинка ширины,  $a = 100$  мм имеет у одного края толщину  $b_1 = 2,254$  мм, а у другого  $b_2 = 2,283$  мм. Показатель преломления пластинки  $n = 1,5$ . Под углом  $\varphi = 30^\circ$  к нормали на пластинку падает пучок параллельных лучей, Длина волны падающего света  $\lambda = 655$  нм. Определить ширину  $\Delta x$  интерференционных полос (измеренную в плоскости пластинки), наблюдаемых в отраженном свете для случая, когда степень монохроматичности света  $\lambda/\Delta\lambda$  равна; а) 5000; б) 500.

174\*. Найти числа полос интерференции  $N$ , получающихся с помощью бипризмы, если показатель преломления её  $n$ , преломляющий угол  $\alpha$ , длина волны источника  $\lambda$ . Расстояние от источника света до бипризмы равно  $a$ , а расстояние бипризмы до экрана равно  $b$ .

175\*. Диск из стекла с показателем преломления  $n$  (для длины волны  $\lambda$ ) закрывает полторы зоны Френеля для точки наблюдения  $P$ . При какой толщине  $h$  освещенность в точке  $P$  будет наибольшей?

176\*. Щель постоянной ширины прикрыта плоско параллельными стеклянными пластинками толщины  $d$  с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$ . Примыкающими друг к другу. Одна пластинка закрывает первую половину щели, другая другую половину щели. На щель нормально падает плоская монохроматическая волна. При каком условии центр дифракционной картины Фраунгофера будет темным?

177\*. На щель ширины  $b$  положена стеклянная призма с показателем преломления  $n$ , и преломляющим углом,  $\alpha$ . На грань АВ призмы нормально падает плоская монохроматическая волна. Найти направления на нулевой максимум и минимум в дифракционной картине Фраунгофера.

178\*. Найти степень поляризации света  $P$ , отраженного от поверхности стекла под углами  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $56^\circ 51'$  и  $90^\circ$ . Показатель преломления стекла  $n = 1,53$  падающий свет естественный.

179\*. Найти степень поляризации преломленного луча по выходе его из стеклянной пластинки с показателем преломления  $n = 1,5$  при углах падения  $20^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $80^\circ$ . Падающий свет – естественный.

180\*. Два николя  $N_1$  и  $N_2$  повернуты один относительно другого на угол  $\alpha$ . Между ними помещен николю  $N_3$ . На систему падает параллельный пучок неполяризованного света. Предполагая, что необыкновенный луч проходит через каждый николю без потерь. Найти ориентацию николя  $N_1$ , при которой интенсивность проходящего света максимальна.

## КВАНТОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА

### Контрольные вопросы:

1. Чем обусловлено тепловое излучение и каковы его характеристики?
2. Какое тело называется абсолютно черным? Какие законы описывают его излучение?
3. Как распределяется энергия в спектре излучения абсолютно черного тела и какая функция описывает это распределение?
4. В чем состоит явление внешнего фотоэффекта и как оно объясняется с точки зрения квантовой теории?
5. Напишите законы Столетова и уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
6. Что такое задерживающая разность потенциалов?
7. В чем состоит эффект Комптона? Чему равно изменение длины волны падающего излучения при этом?
8. почему свет оказывает давление на поверхность? Чему равно это давление?

### Методические указания к решению задач

Здесь рассмотрены задачи на тепловое излучение и на взаимодействие фотонов с веществом (давление света) или с отдельными электронами (фотоэффект, явление Комптона), которое подчиняется законам сохранения энергии и импульса. Так, закон сохранения импульса, примененный к взаимодействию фотонов с веществом. Приводит к формуле  $p = \frac{E_0}{c} (1 + \rho)$  для светового давления; закон сохранения энергии, записанный для взаимодействия фотонов с электроном, связанным в атоме металла, есть уравнение Эйнштейна для фотоэффекта  $h\nu = A + T$ , а совместное применение этих законов для взаимодействия фотонов со свободным электроном дает формулу Комптона

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta).$$

Формула давления света справедлива лишь для случая нормального давления света на поверхность.

Законы Стефана – Больцмана  $R_3 = \zeta T^4$  и Вина  $\lambda_0 T = b$  справедливы лишь для абсолютно черного тела. Для не черных тел пишут  $R_3' = R_3 a_T = a_T \zeta T^4$ , где  $a_T$  - коэффициент излучения, показывающий, какую часть составляет энергетическая светимость  $R_3'$  данного тела, взятого от энергетической светимости  $R_3$  абсолютно твердого тела, взятого при той же температуре.

### Примеры решения задач

#### Задача 1.

Электрическая печь потребляет мощность  $N = 500$  Вт. Температура ее внутренней поверхности при открытом небольшом отверстии диаметром

$d = 5\text{ см}$  равна  $T = 700^\circ\text{C}$ . Какая часть потребляемой мощности рассеивается стенками?

**Решение.**

При установившемся тепловом режиме печи вся потребляемая мощность  $N$  излучается наружу отверстием и стенками. Следовательно,

$$N = \Phi_2 + \Phi_1 \quad (1),$$

где  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  – потоки излучения, испускаемые отверстиями и стенками соответственно. В задаче требуется найти соотношение  $\alpha = \frac{\Phi_2}{N}$ . С учетом (1) его можно выразить так:

$$\alpha = \frac{N - \Phi_1}{N} = 1 - \frac{\Phi_1}{N} \quad (2)$$

Рассматривая излучения печи через небольшое отверстие в ней, как излучение абсолютно черного тела и применив закон Стефана – Больцмана, находим

$$\Phi_1 = R_\Sigma * S = \zeta T^4 \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

Теперь по формуле (2) с учетом (3) получим

$$\alpha = 1 - \frac{\pi d^2}{4} * \frac{\zeta T^4}{N}$$

Произведем вычисления:

$$\alpha = 0,8$$

**Задача2.**

Определить красную границу фотоэффекта для цезия, если при облучении его поверхности фиолетовым цветом длиной волны  $\lambda = 400\text{ нм}$  максимальная скорость фотонов  $v_m = 0,65 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$

**Решение.**

При облучении светом, длина волны  $\lambda_0$  которого соответствует красной границе фотоэффекта, скорость, а следовательно, и кинетическая энергия фотоэлектронов равны нулю. Поэтому уравнение для фотоэффекта  $\varepsilon = A + T$  в случае красной границы запишется в виде

$$\varepsilon = A, \text{ или } \frac{hc}{\lambda} = A$$

Отсюда  $\lambda_0 = \frac{hc}{A} \quad (1)$

Работа выхода для цезия определяется с помощью уравнения Эйнштейна

$$A = \varepsilon - T = \frac{hc}{\lambda} - \frac{mV_m^2}{2}$$

Произведем вычисления:

$$A = \frac{6.62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} - \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (0,65 \cdot 10^6)^2}{2} = 3,05 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$\lambda_0 = \frac{6.62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3,05 \cdot 10^{-19}} = 64 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 640 \text{ нм}$$

**Задача3.**

В результате эффекта Комптона фотон при соударении с электроном был рассеян на угол  $\theta = 90^\circ$ . Энергия  $\varepsilon'$  рассеянного фотона равна 0,4 МэВ. Определить энергию  $\varepsilon$  фотона до рассеяния.

### Решение.

Для определения энергии первичного фотона воспользуемся формулой

$$\text{Комптона в виде} \quad \lambda' - \lambda = 2 \frac{h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (1)$$

Эту формулу преобразуем следующим образом: 1) выразим длины волн  $\lambda'$  и  $\lambda$  через энергии  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon$  соответствующих фотонов, воспользовавшись соотношением  $\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$  2) умножим числитель и знаменатель правой части формулы на "с". Тогда получим

$\frac{hc}{\varepsilon_1} - \frac{hc}{\varepsilon} = \frac{hc}{c^2 m_0} 2 \sin^2 \frac{\theta}{2}$  сократив на  $hc$ , выразим из этой формулы искомую энергию:

$$\varepsilon = \frac{m_0 c^2 \varepsilon'}{m_0 c^2 - \varepsilon' 2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} = \frac{E_0 \varepsilon'}{E_0 - \varepsilon' 2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} \quad (2),$$

где  $E_0 = 0,51 \text{ МэВ}$  энергия покоя электрона.

Вычисления по формуле (2) удобнее ввести во внесистемных единицах

$$\varepsilon = \frac{0,4 \cdot 0,51}{0,51 - 2 \cdot 0,4 \sin^2 45^\circ} = 1,85 \text{ МэВ}.$$

### Задача4.

Пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 663 \text{ нм}$  падает нормально на зеркальную плоскую поверхность. Поток энергии  $\Phi = 0,6 \text{ Вт}$ . Определить  $F$  давления, испытываемую этой поверхностью, а также число  $N$  фотонов, падающих на нее за время  $t = 5 \text{ с}$ .

### Решение.

Сила светового давления на поверхность равна произведению светового давления  $p$  на площадь  $S$  поверхности

$$F = pS \quad (1)$$

Световое давление на поверхность может быть найдено по формуле:

$$F = \frac{E}{c} (\rho + 1) \quad (2)$$

Поставляя выражение (2) в формулу (1), получим

$$F = \frac{E \cdot S}{c} (\rho + 1) \quad (3)$$

Так как произведение облученности  $E$  на площадь  $S$  поверхности равно потоку энергии излучения  $\Phi$ , то соотношение (3) можно переписать в виде

$$F = \frac{\Phi}{c} (\rho + 1)$$

После подстановки значений  $A$  и  $c$  с учетом, что  $\rho = 1$  (поверхность зеркальная), получим

$$F = \frac{0,6 \cdot 2}{3 \cdot 10^8} = 4 \cdot 10^{-9} \text{ Н} = 4 \text{ нН}$$

Число  $N$  фотонов, падающих за время  $t$  на поверхность, определяется по формуле:  $N = \frac{\Phi t}{\varepsilon}$ .

Выразив в этой формуле энергию фотона через длину волны, получим  $N = \frac{\Phi t \lambda}{h c}$ .

$$\text{Произведем вычисления} \quad N = \frac{9,6 \cdot 663 \cdot 10^{-9} \cdot 5}{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} = 10^{19}.$$

**Таблица вариантов к теме 13**

<b>№ вариант а</b>	<b>Номера задач</b>				<b>№ вариант а</b>	<b>Номера задач</b>				<b>Задачи для сам. работы</b>
<b>1</b>	30	56	129	169	<b>26</b>	15	66	128	161	138
<b>2</b>	29	57	145	186	<b>27</b>	14	67	105	162	158
<b>3</b>	28	58	130	170	<b>28</b>	13	75	138	163	182
<b>4</b>	27	70	139	187	<b>29</b>	12	76	104	177	185
<b>5</b>	26	94	146	188	<b>30</b>	11	77	137	190	193
<b>6</b>	31	93	147	171	<b>31</b>	10	84	127	164	194
<b>7</b>	34	71	149	152	<b>32</b>	9	85	103	191	195
<b>8</b>	33	92	140	151	<b>33</b>	8	51	115	165	196
<b>9</b>	32	95	131	172	<b>34</b>	7	52	114	192	196
<b>10</b>	35	96	119	191	<b>35</b>	6	53	102	166	197
<b>11</b>	36	97	120	192	<b>36</b>	5	54	101	193	198
<b>12</b>	42	98	132	193	<b>37</b>	4	55	112	167	199
<b>13</b>	41	91	141	173	<b>38</b>	3	60	113	176	200
<b>14</b>	40	59	133	185	<b>39</b>	2	61	116	168	201
<b>15</b>	39	68	142	174	<b>40</b>	1	62	117	175	202
<b>16</b>	38	69	148	181	<b>41</b>	22	63	118	160	203
<b>17</b>	37	90	134	182	<b>42</b>	21	64	126	159	204
<b>18</b>	44	99	121	183	<b>43</b>	20	65	136	151	205
<b>19</b>	43	100	122	184	<b>44</b>	19	82	144	152	206
<b>20</b>	45	72	135	189	<b>45</b>	18	83	108	153	207
<b>21</b>	46	73	143	190	<b>46</b>	17	86	106	154	208
<b>22</b>	47	88	150	164	<b>47</b>	16	79	107	155	209
<b>23</b>	48	89	123	180	<b>48</b>	23	80	109	156	210
<b>24</b>	50	74	124	179	<b>49</b>	25	81	110	157	211
<b>25</b>	49	78	125	178	<b>50</b>	24	87	111	158	212

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Какова температура печи, если известно, что из отверстия в ней площадью  $S = 4 \text{ см}^2$  излучается за время  $t = 1 \text{ с}$  энергия  $\Phi = 22,7 \text{ Дж}$ ? Излучение считать близким к излучению абсолютно черного тела.

2. Температура абсолютно черного тела изменяется от  $t_1 = 727^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 1727^\circ\text{C}$ . Во сколько раз изменится при этом энергия, излучаемая телом?

3. Электрическая печь потребляет мощность  $N = 500 \text{ Вт}$ . Температура её внутренней поверхности при открытом небольшом отверстии диаметром  $d = 5 \text{ см}$  равна  $t = 727^\circ\text{C}$ . Какая часть потребляемой мощности рассеивается стенками?

4. Земля вследствие излучения в среднем ежеминутно теряет с поверхности площадью  $S = 1 \text{ м}^2$  энергию  $\Phi = 5,4 \text{ кДж}$ . При какой температуре абсолютно черное тело излучало бы такую же энергию?

5. Вычислить энергию, излучаемую с поверхности Солнца площадью  $S = 1 \text{ м}^2$  за  $t = 1 \text{ мин.}$ , приняв его температуру его поверхности  $T = 5300^\circ\text{K}$ . Считать, что Солнце излучает как абсолютно черное тело.

6. Найти мощность, излучаемую абсолютно черным шаром радиусом  $r = 10 \text{ см}$ , который находится в комнате при температуре  $t = 20^\circ\text{C}$ .

7. Температура абсолютно черного тела  $t = 127^\circ\text{C}$ . После повышения температуры суммарная мощность излучения увеличилась в 3 раза. На сколько повысилась при этом температура?

8. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела,  $\lambda_0 = 0,58 \text{ мкм}$ . Определить энергетическую светимость (излучательность)  $R_3$  поверхности тела.

9. В спектре излучения Солнца, близкого к излучению абсолютно черного тела, максимум интенсивности монохроматического излучения приходится на длину волны  $\lambda_0 = 0,48 \text{ мкм}$ . Определить массу, ежесекундно теряемую Солнцем за счет излучения. Радиус Солнца равен  $R = 7 \cdot 10^8 \text{ м}$ .

10. Серое тело, площадь поверхности которого равна  $S = 100 \text{ см}^2$ , ежеминутно излучает энергию  $\Phi = 2,0 \cdot 10^4 \text{ Дж}$ . Температура тела  $1000^\circ\text{K}$ . Определить коэффициент поглощения этого тела. Серым называется тело, коэффициент монохроматического поглощения которого одинаков для всех длин волн.

11. Максимум интенсивности монохроматического излучения абсолютно черного тела приходится на длину волны  $\lambda_0 = 0,6 \text{ мкм}$ . Определить температуру этого тела и интенсивность его интегрального излучения.

12. Определить температуру  $T$ , при которой излучательность абсолютно черного тела равна  $R_3 = 10 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$ .

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

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

15. Вычислить энергию, излучаемую за время  $t = 1$  мин с площади  $S = 1 \text{ см}^2$  абсолютно черного тела, температура которого  $T = 1000^\circ\text{К}$ .

16. Длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения абсолютно черного тела,  $\lambda_0 = 0,6 \text{ мкм}$ . Определить температуру  $T$  тела.

17. Определить максимальную спектральную плотность энергетической светимости (излучательности), рассчитанную на  $1 \text{ нм}$  в спектре излучения абсолютно черного тела. Температура тела  $T = 1^\circ\text{К}$ .

18. Температура верхних слоев звезды Сириус равна  $T = 10000^\circ\text{К}$ . Определить поток энергии  $\Phi$ , излучаемый с поверхности площадью  $S = 1 \text{ км}^2$  звезды.

19. Определить поглощательную способность  $Q$  серого тела, для которого температура, измеренная радиационным пирометром,  $T_{\text{рад}} = 1,4^\circ\text{К}$ , тогда как истинная температура  $T$  тела равна  $3,2^\circ\text{К}$ .

20. Определить, на сколько градусов изменилась температура, абсолютно черного тела, если максимум интенсивности монохроматического излучения сместился с красной границы ( $0,76 \text{ мкм}$ ) видимого света на фиолетовую ( $0,38 \text{ мкм}$ ).

21. Излучение Солнца близко к излучению абсолютно черного тела, для которого максимум испускательной способности приходится на длину волны  $0,48 \text{ мкм}$ . Определить, какое количество энергии излучается в одну секунду с  $1,0 \text{ м}^2$  солнечной поверхности.

22. Мощность интегрального излучения абсолютно черного тела равна  $5,5 \cdot 10^7 \text{ Вт}$ ; длина волны, на которую приходится максимум излучения, равна  $0,56 \text{ мкм}$ . Определить площадь излучающей поверхности.

23. Максимум интенсивности излучения абсолютно черного тела приходится на длину волны  $1,0 \text{ мкм}$ . Определить, на какую длину волны он переместился, если интенсивность интегрального излучения тела увеличится в четыре раза.

24. Определить, какое количество энергии в  $1,0$  секунду излучает  $1,0 \text{ м}^2$  поверхности отвердевающего олова ( $232^\circ\text{С}$ ), если отношение интенсивностей интегрального излучения данной поверхности и абсолютно черного тела равно  $0,60$ .

25. Температура абсолютно черного тела равна  $2000^\circ\text{К}$ . Определить температуру другого абсолютно черного тела, если длина волны, на которую приходится максимальное излучение, на  $0,50 \text{ мкм}$  меньше соответствующей длины волны первого тела.

26. Определить относительное увеличение  $\frac{\Delta R_\lambda}{R_\lambda}$  излучательности абсолютно черного тела при увеличении его температуры на  $1\%$ .

27. Во сколько раз надо увеличить термодинамическую температуру абсолютно черного тела, чтобы его излучательность возросла в два раза.



28. Найти температуру  $T$  печи, если известно, что излучение из отверстия в ней площадью  $S = 1 \text{ см}^2$  имеет мощность  $N = 34,6 \text{ Вт}$ . Излучение считать близким к излучению абсолютно черного тела.

29. Какую энергетическую светимость  $R_0$  имеет затвердевающий свинец? Отношение энергетических светимостей свинца и абсолютно черного тела для данной температуры  $k = 0,6$ .

30. Температура вольфрамовой спирали в 25-ваттной электрической лампочке

$T = 2450^\circ\text{К}$ . Отношение её энергетической светимости к энергетической светимости абсолютно черного тела при данной температур  $k = 0,3$ . Найти площадь  $S$ , излучающей поверхности спирали.

31. Вычислить истинную температуру  $T$  вольфрамовой раскаленной ленты, если радиационный пирометр показывает температуру  $T = 2,5^\circ\text{К}$ . Принять, что поглощательная способность для вольфрама не зависит от частоты излучения и равна  $a_T = 0,35$ .

32. Максимум спектральной плотности энергетической светимости яркой красноватой звезды Арктур приходится на длину волны  $\lambda_0 = 580 \text{ нм}$ . Принять, что звезда излучает как абсолютно черное тело, определить температуру  $T$  поверхности звезды.

33. Вследствие изменения температуры абсолютно черного тела максимум спектральной плотности энергетической светимости сместился с  $\lambda_1 = 2400 \text{ нм}$  на  $\lambda_2 = 800 \text{ нм}$ . Как и во сколько раз изменились энергетическая светимость тела и максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости?

34. Эталон силы света представляет собой полный (излучающий волны всех длин) излучатель с излучающей поверхностью равной  $S = 0,5305 \text{ мм}^2$ , который имеет температуру затвердевания платины  $t = 1063^\circ\text{С}$ . Определить мощность излучателя  $N$ .

35. Считая, что атмосфера поглощает 107 лучистой энергии, посылаемой Солнцем. Найти мощность излучения  $N$ , получаемую от Солнца горизонтальный участок Земли площадью  $S = 0,5 \text{ га}$ . Высота Солнца над горизонтом  $\varphi = 30^\circ$ . Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела.

36. На какую длину волны  $\lambda$  приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела, имеющего температуру, равную температуре  $t = 37^\circ\text{С}$  человеческого теле?

37. Поверхность тала нагрета до температуры  $T = 10^3$ . Затем одна половина этой поверхности нагревается на  $\Delta T = 100^\circ\text{К}$ , другая охлаждается на  $\Delta T = 100^\circ\text{К}$ . Во сколько раз изменится энергетическая светимость  $R_0$  поверхности этого тела?

38. Зачерненный шарик остывает от температуры  $T_1 = 300^\circ\text{К}$  до  $T_2 = 293^\circ\text{К}$ . На сколько изменилась длина волна, соответствующая максимуму спектральной плотности его энергетической светимости.

39. На сколько уменьшится масса Солнца за год вследствие излучения? За какое время  $t$  масса Солнца уменьшится вдвое? Температура поверхности Солнца  $T = 5800^\circ\text{K}$ . Излучение Солнца считать постоянным.

40. Какую мощность  $N$  надо подводить к зачерканному шарик радиусом  $r = 2$  см чтобы поддерживать его температуру на  $\Delta T = 27^\circ\text{K}$ , выше температуры окружающей среды? Температура окружающей среды  $T = 293^\circ\text{K}$ , Считать что тепло теряется только вследствие излучения.

41. Абсолютно черное тело имеет температуру  $T_1 = 2900^\circ\text{K}$ . В результате остывания тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на  $\Delta\lambda = 9$  мкм. Найти  $T_2$  тела.

42. С поверхности сажи площадью  $S = 2$  см<sup>2</sup> при температуре  $T = 400^\circ\text{K}$  за время  $\tau = 5$  мин излучается энергия  $W = 83$  Дж. Определить коэффициент черноты сажи.

43. Муфельная печь потребляет мощность  $N = 1$  кВт. Температура её внутренней поверхности при открытом отверстии площадью  $S = 25$  см<sup>2</sup> равна  $T = 1,2^\circ\text{K}$ . Считая, что отверстие печи излучает как абсолютно черное тело, определить, какая часть мощности рассеивается стенками.

44. Можно условно принять, что Земля излучает как серое тело, находящееся при температуре  $T = 280^\circ\text{K}$ . Определить коэффициент черноты,  $a$  Земли, если излучательность её поверхности равна  $R_0 = 325$  кДж.

45. Мощность излучения пара радиусом  $R = 10$  см при некоторой температуре равна  $N = 1$  кВт. Найти эту температуру  $T$ , считая шар серым телом с коэффициентом черноты,  $a_T = 0,25$ .

46. Серое тело, площадь поверхности которого равна  $S = 200$  см<sup>2</sup>, излучает в 1с энергию  $W = 836$  Дж. Коэффициент монохроматического поглощения тела равен  $a_T = 0,73$ . Определите температуру тела. Серым называется тело, коэффициентом монохроматического поглощения которого одинаково для всех длин волн.

47. Площадка  $S = 1$  см<sup>2</sup>, расположенная на границе земной атмосферы перпендикулярно лучам Солнца, получает от него в 1 мин около 8,36 Дж энергии. Радиус Солнца виден с Земли под углом  $\varphi = 15^\circ$ . Определите интенсивность интегрального излучения Солнца, излучение которого по своему спектральному составу близко к излучение абсолютно чёрного тела.

48. Температура абсолютно черного тела равна  $p = 1000^\circ\text{K}$ . Определите: 1) длину волны, на которую приходится максимум интенсивности монохроматического излучения, 2) максимальную интенсивность монохроматического излучения; 3) интенсивность интегрального излучения.

49. Диаметр вольфрамовой спирали электрической лампочки  $d = 0,3$  мм, длина спирали  $l = 5$  см. При включении лампочки в сеть напряжением  $U = 127$  В через лампочку течет ток  $I = 0,31$  А. Найти температуру спирали. Считать, что по установлении равновесия все выделяющиеся в нити тепло теряется в результате излучения. Отношение

энергетических светимостей вольфрама и абсолютно черного тела для данной температуры  $k = 0,31$ .

50. Мощность излучения металлической раскаленной поверхности  $N = 0,67$  кВт. Температура поверхности  $T = 2500^\circ\text{K}$ , ее площадь  $S = 10$  см<sup>2</sup>, Какую мощность излучения эта поверхность, если бы она была абсолютно черной?

51. Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта, для некоторого металла  $\lambda_0 = 275$  нм. Найти минимальную энергию фотона, вызывающего фотоэффект.

52. Найти частоту  $\nu$  света, вырывающего из металла электроны, которые полностью зачерчиваются разностью потенциалов  $U = 3$  В фотоэффект начинается при частоте света  $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14}$  Гц. Найти работу выхода электрона из металла.

53. Найти задерживающую разность потенциалов  $U$  для электронов, вырываемых при освещении калия светом с длиной волны  $\lambda = 330$  нм.

54. Цинковая пластинка освещается монохроматическим светом. Для прекращения фототеке нужно приложить задерживающую разность потенциалов не менее  $U_1 = 6$  В. Если цинковую пластинку заменить на пластинку из другого металла, то задерживающая разность потенциалов уменьшается до  $U_2 = 5,3$  В. Определите работу выхода электрона из металла второй пластинки, если работа выхода электрона из цинка равна  $A = 3,7$  эВ.

55. При освещении металлической пластинки монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 2$  мкм задерживающая разность потенциалов оказалась равной  $U = 0,8$  В. Определить максимальную длину волны, при которой еще возможен фотоэффект.

56. При освещении одного из электродов вакуумного фотоэлемента монохроматическим светом частотой  $\nu_0 = 5 \cdot 10^{14}$  Гц электроны полностью задерживаются при напряжении не менее  $U = 0,70$  В. Определить минимальную задерживающую разность потенциалов необходимую для прекращения фототока при освещении того же электрода светом длиной волны  $\lambda = 0,52$  мкм.

57. Определить максимальную скорость фотоэлектрона, вырванного с поверхности металла  $\gamma$ - квантом с энергией  $\varepsilon = 1,53$  МэВ.

58. Поток фотонов, монохроматического света длиной волны  $\lambda = 0,22$  мкм падает на поверхность металлической пластины. Определить максимальный импульс, передаваемый поверхности пластины, при вылете каждого фотоэлектрона. Красная граница фотоэффекта для данного металла равна  $\lambda_0 = 0,22$  мкм.

59. Изолированный железный шар освещается монохроматическим ультрафиолетовыми лучами с длиной волны  $\lambda = 0,22$  мкм; Работа выхода электрона из железа равна  $A = 4,4$  эВ. Определить, до какого максимального потенциала зарядится шар.

60. В фотоэлементе на один из электродов, покрытый слоем натрия работа выхода электрона  $A = 2,3$  эВ, падает монохроматический свет с

длиной волны  $\lambda = 0,40$  мкм. Определить, какую наименьшую задерживающую потенциалов необходимо приложить, чтобы фототок прекратился.

61. Фотоны с энергией  $\varepsilon = 4,9$  эВ вырывают электрона из металла с работой выхода  $A = 4,5$  эВ. Найти максимальный импульс, передаваемый поверхности металла при вылете каждого электрона.

62. Медный шарик, удаленный от других тел, зарядился до потенциала  $U = 1,2$  В при освещении его монохроматическим светом. Определите длину волны света, если работа выхода электрона да меди равна  $A = 4,5$  эВ.

63. Платиновая пластина освежается ультрафиолетовыми лучам с длиной волны  $\lambda = 0,15$  мкм. Для прекращения фототока нужно приложить задерживающую разность потенциалов не менее  $U = 2,9$  В. Определите работу выхода электрона из пластины.

64. При освещении одного из электродов вакуумного фотоэлемента ультрафиолетовыми лучами с длимой волны равной  $\lambda = 0,20$  мкм задерживающая разность потенциалов оказалась равной  $U = 0,80$  В. Определить максимальную длину волны, при которой возможен фотоэффект.

65. На пластину падает монохроматический свет ( $\lambda = 0,42$  мкм). Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов

$U = 0,95$  В. Определить работу  $A$  выхода электронов с поверхности пластины.

66. Определите постоянную Планка, если известно, что фотоэлектроны, вырываемые с поверхности металла светом с частотой  $\nu_1 = 2,3 \cdot 10^{15}$  Гц полностью задерживаются при напряжении  $U = 7$  В, а вырываемые светом частотой  $\nu_{21} = 4,5 \cdot 10^{15}$  Гц при напряжении  $U_2 = 16,1$  В.

67. На слой натрия в фотоэлементе падает свет с длиной волны  $\lambda = 400$  нм. Определите, какую наименьшую задерживающую разность потенциалов нужно приложить к фотоэлементу, чтобы фототок прекратился. Работа выхода электрона из натрия равна  $A = 2,3$  эВ.

68. Железный шарик, удаленный от других тел, освещается монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 0,22$  мкм, Работа выхода электрона из железа равна  $A = 4,4$  эВ. Определите, до какого максимального потенциала зарядится шарик.

69. На цинковую пластинку падает пучок ультрафиолетовых лучей ( $\lambda = 0,2$  мкм). Определить максимальную кинетическую энергию  $T_{max}$  и максимальную скорость  $v_{max}$  фотоэлектронов.

70. Красная граница фотоэффекта для цинка  $\lambda_0 = 310$  нм. Определить максимальную кинетическую энергию  $T$  фотоэлектронов в электрон – вольтах, если на цезий падают лучи с длиной волны  $\lambda = 200$  нм.

71. На поверхность калия падают лучи с длиной волны  $\lambda = 150$  нм. Определить максимальную кинетическую энергию  $T$  фотоэлектронов.

72. Фотон с энергией  $\varepsilon = 10$  эВ падает на серебряную пластинку и вызывает фотоэффект. Определить импульс  $p$ , полученный пластиной, если принять, что направление движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной поверхности пластин.

73. на фотоэлемент с катодом из лития падают лучи с длиной волны  $\lambda = 200\text{ нм}$ . Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов  $U_3$ , которую нужно к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок.

74. Какова должна быть длина волны  $\gamma$ -лучей, падающих на платиновую пластину, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была  $v_m = 3 \frac{m}{c}$ ?

75. На металлическую пластину направлен пучок ультрафиолетовых лучей

( $\lambda = 0,25 \text{ мкм}$ ). Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов  $U_3 = 0,96 \text{ В}$ . Определить работу выхода  $A$  электронов из металла.

76. На поверхность металла, падают монохроматические лучи с длиной волны  $\lambda = 0,1 \text{ мкм}$ . Красная граница фотоэффекта  $\lambda_0 = 0,3 \text{ мкм}$ . Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?

77. На металл, падают рентгеновские лучи с длиной волны  $\lambda = 1 \text{ нм}$ . Пренебрегая работой выхода, определить максимальную скорость  $v_m$  фотоэлектронов.

78. Произойдет ли фотоэффект, если медь облучать светом с длиной волны  $\lambda = 400 \text{ нм}$ .

79. С какой максимальной скоростью вылетают электроны из цинка, если его облучать ультрафиолетовым светом ( $\lambda = 320 \text{ нм}$ )

80. Какой частоты свет следует направить на поверхность лития, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была равна  $v_m = 2500 \frac{m}{c}$ ?

81. Каким светом облучали цезий, если для прекращения эмиссии электронов потребовалось приложить задерживающую разность потенциалов  $U = 1,75 \text{ В}$ ?

82. Уединенный шарик радиуса  $r = 0,5 \text{ см}$  освежили светом с длиной волны  $\lambda_1 = 250 \text{ нм}$ . Сколько электронов покинет шарик, если его дополнительно осветили светом с длиной волны  $\lambda_2 = 200 \text{ нм}$ ?

83. Определить работу выхода электронов из натрия, если красная граница фотоэффекта  $\lambda_0 = 600 \text{ нм}$ .

84. Будет ли наблюдаться фотоэффект, если на поверхность серебра направить ультрафиолетовое излучение с длиной волны  $\lambda = 500 \text{ нм}$ .

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

86. На поверхность лития падает монохроматический свет ( $\lambda = 310 \text{ нм}$ ). Чтобы прекратить эмиссию электронов, нужно приложить задерживающую разность потенциалов не менее  $U = 1,7 \text{ В}$ . Определить работу выхода  $A$ .

87. Для прекращения фотоэффекта, вызванного облучением ультрафиолетовым светом платиновой пластинки, нужно приложить задерживающую разность потенциалов  $U_1 = 3,7 \text{ В}$ . Если платиновую пластинку заменить другой пластинкой, то задерживающую разность потенциалов придется увеличить до  $U_2 = 6 \text{ В}$ . Определить работу выхода электронов с поверхности этой пластинки.

88. На цинковую пластинку падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 220$  нм. Определить максимальную скорость фотоэлектронов.
89. Определить длину волны ультрафиолетового излучения, падающего на поверхность некоторого металла, при максимальной скорости фотоэлектронов, равной  $v_m = 10 \frac{Mm}{c}$ . Работой выхода электронов из металла пренебречь.
90. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вылетающих из металла под действием  $\gamma$  - излучения с длиной волны  $\lambda = 0,3$  мм.
91. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении  $\gamma$  - фотонами с энергией  $\varepsilon = 1,53$  МэВ.
92. Максимальная скорость фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении его  $\gamma$  - фотонами, равна  $v_m = 291 \frac{Mm}{c}$ . Определить энергию  $\gamma$  - фотонов.
93. Найти длину волны  $\lambda_0$ , света, соответствующую красной границы фотоэффекта, для лития натрия, калия и цезия.
94. При фотоэффекте с платиновой поверхности электрону подлостью задерживаются разностью потенциалов  $U = 0,8$  В. Найти длину волны  $\lambda$  применяемого облучения и предельную длину волны  $\lambda_0$  при которой ещё возможен фотоэффект.
95. Найти постоянную Планку  $h$ , если известно, что электроны, выражаемые из металла светом с частотой  $\nu_1 = 22 \cdot 10^{13}$  Гц, полностью задерживаются разностью потенциалов  $U_1 = 6,6$  В, а вырываемые светом  $\nu_2 = 4,6 \cdot 10^{13}$  Гц – разностью потенциалов  $U_2 = 16,5$  В.
96. Какую максимальную кинетическую энергию имеют вырванные из лития электроны при облучении светом с частотой  $\nu = 10^{15}$  Гц?
97. С какой длиной волны следует направить свет на поверхность цезия, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была  $v_m = 2000 \frac{KM}{c}$  ? Красная граница фотоэффекта для цезия равна  $\lambda_0 = 690$  нм.
98. При поочередном освещении поверхности некоторого металла светом с длинами волн  $\lambda_1 = 0,35$  мкм и  $\lambda_2 = 0,54$  мкм обнаружили, что соответствующие максимальные скорости фотоэлектронов отличаются друг от друга в  $n = 2$  раза. Найти работу выхода с поверхности этого металла.
99. До какого максимального потенциала зарядится удаленный, от других тел медный шарик при облучении его электромагнитным излучением с длиной волны  $\lambda = 140$  нм?
100. Определить красную границу фотоэффекта для цинка и максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с его поверхности электромагнитным излучением с длиной волны  $\lambda = 250$  нм.
101. Рентгеновское излучение длиной волны  $\lambda = 55,8$  пм, рассеивается плиткой графита. Определите длину волны света, рассеянного, под углом  $\theta = 60^\circ$  к направлению падающего пучка.
102. Определить максимальное изменение длины волны при комптоновском рассеивании: 1) на свободных электронах; 2) на свободных протонах.

103. Определить угол рассеяния фотона, испытавшего соударение со свободным электроном, если изменение длины волны при рассеянии равно  $\Delta\lambda = 3,62$  пм.

104. Фотон с энергией  $\varepsilon = 0,4$  МэВ рассеялся под углом  $\theta = 90^\circ$  на свободном электроне. Определить энергию  $\varepsilon'$  рассеянного фотона и кинетическую энергию  $T$  электрона отдачи.

105. Рентгеновские лучи с длиной волны  $\lambda = 7,08$  нм не испытывают комптоновское рассеяние на парафине. Найти длину волны рентгеновских лучей, рассеяны в направлениях: 1)  $\frac{\pi}{2}$ , 2)  $\pi$ .

106. Какова была длина волны рентгеновского излучения, если при комптоновском рассеянии этого излучения графитом под углом  $\theta = 60^\circ$  длина волны рассеянного излучения оказалась равной  $\lambda' = 25,4$  пм?

107. Рентгеновские лучи с длиной волны  $\lambda = 2$  нм испытывают комптоновское рассеяние под углом  $\theta = 90^\circ$ . Найти энергию электрона отдачи.

108. В явлении Комптона энергия падающего фотона распределяется поровну между рассеянным фотоном и электроном отдачи. Угол рассеяния  $\theta = \frac{\pi}{2}$ . Найти энергию и импульс рассеянного фотона.

109. Энергия рентгеновских лучей  $\varepsilon = 0,6$  МэВ. Найти энергию электрона отдачи, если известно, что длина волны после комптоновского рассеяния изменилась на 20%.

110. Определить импульс  $p$  электрона отдачи при эффекте Комптона, если фотон с энергией, равной энергии покоя электрона, был рассеян на угол  $\theta = 180^\circ$ .

111. Какая доля энергии фотона при эффекте Комптона приходится на электрон отдачи, если фотон потерпел рассеяние на угол  $\theta = 180^\circ$ ? Энергия фотона до рассеяния  $\varepsilon = 0,255$  МэВ.

112. Фотон с энергией  $\varepsilon = 0,25$  МэВ рассеялся на свободном электроне, энергия рассеянного фотона  $\varepsilon' = 0,2$  МэВ. Определить угол рассеяния.

113. Угол рассеяния фотона  $\theta = 90^\circ$ . Угол отдачи электрона  $\gamma = 30^\circ$ . Определить энергию падающего фотона.

114. Фотон ( $\lambda = 1$  пм) рассеялся на свободном электроне под углом  $\theta = 90^\circ$ . Какую долю энергии фотон предал электрону?

115. Длина волны  $\lambda$  фотона равна комптоновской длине  $\lambda_0$  электрона. Определить энергию  $\varepsilon$  и импульс  $p$  фотона.

116. Энергия падающего фотона равна энергии покоя электрона. Определять долю энергии падающего фотона, которую сохранит рассеянный фотон и долю этой энергии полученную электроном отдачи, если угол рассеяния  $\theta = 80^\circ$ .

117. Фотон с энергией  $\varepsilon = 0,75$  МэВ рассеялся на свободном электроне под углом  $\theta = 60^\circ$ . Принимая, что кинетическая энергия и импульс электрона до соударения с фотоном были пренебрежимо малы, определить кинетическую энергию электрона отдачи.

118. Рентгеновские лучи испытывают комптоновское рассеяние под углом  $\theta = 60^\circ$ . Энергия падающего фотона распределяется поровну между

рассеянным фотоном и вылетевшим электроном. Определите импульс  $p$  рассеянного фотона.

119. Фотон с энергией  $\varepsilon$ , равной энергии покоя электрона рассеялся на свободном электроном на угол  $\theta = 120^\circ$ . Определить энергию  $\varepsilon'$  рассеянного фотона и кинетическую энергию  $T$  электрона отдачи (в единицах  $m_0c^2$ )

120. При комптоновском рассеянии рентгеновских лучей один из квантов, при столкновении со свободным электроном, отклонился от первоначального направления на угол  $\theta = 60^\circ$  и передал третью часть своей энергии электрону. Определить энергию кванта  $\varepsilon'$  после столкновения.

121. В результате эффекта Комптона фотон с энергией  $\varepsilon = 1,02$  МэВ рассеян на свободных электронах на угол  $\theta = 150^\circ$ . Определить энергию  $E$  рассеянного фотона.

122. Определить угол  $\theta$ , на который был рассеян  $\gamma$  – квант с энергией  $\varepsilon = 1,53$  МэВ при эффекте Комптона, если кинетическая энергия электрона отдачи  $T = 0,51$  МэВ.

123. При комптоновском рассеянии рентгеновских лучей один из квантов отклонился от первоначального направления на угол  $\theta = 90^\circ$ . Определить энергию  $\varepsilon$  вылетевшего электрона, если она равна одной трети энергии падающего кванта.

124. В результате комптоновского рассеяния рентгеновских лучей изменение длины волны составляет 10% от первоначальной длины волны равной  $\lambda = 2,6$  нм. Определить сколько процентов энергии передал фотон покоившемуся свободному электрону и угол, под которым рассеялся фотон.

125. Фотон при эффекте Комптона на свободном электроном был рассеян на угол  $\theta = \frac{\pi}{2}$ . Определить импульс  $p$  (в МэВ/с) приобретенный электроном, если энергия фотона до рассеяния была  $\varepsilon = 1,02$  МэВ.

126. Рентгеновское излучение ( $\lambda = 1$  нм) рассеивается электронами, которые можно считать практически свободными. Определять максимальную длину волны  $\lambda'$  рентгеновского излучения в рассеянном пучке.

127. Какая доля энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если рассеяние фотона происходит на угол  $\theta = \frac{\pi}{2}$ ? Энергия фотона до рассеяния  $\varepsilon = 0,51$  МэВ.

128. Определить максимальное изменение длины волны ( $\Delta\lambda_m$ ) при комптоновском рассеянии света на свободных электронах и свободных протонах.

129. Фотон с энергией  $\varepsilon = 15$  МэВ рассеялся на свободном электроном. Длина волны рассеянного фотона  $\lambda' = 16$  пм. Определить угол  $\theta$  рассеяния.

130. Фотон с энергией  $\varepsilon = 0,51$  МэВ был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроном на угол  $\theta = 180^\circ$ . Определить кинетическую энергию  $T$  электрона отдачи.



131. Рентгеновские лучи длиной волны  $\lambda = 0,1$  нм испытывают комптоновское рассеяние под углом  $\theta = 180^\circ$ . Определить во сколько раз увеличивается длина волны в результате рассеяния.

132. При рассеянии рентгеновских лучей один из квантов, после столкновения со свободным электроном, отклонился от первоначального направления на угол  $\theta = 60^\circ$  и передал электрону половину своей энергии. Определить импульс кванта после столкновения.

133. Узкий пучок монохроматического рентгеновского излучения падает на рассеивающее вещество. При этом длины волн излучения, рассеянного под углами  $\theta_1 = 60^\circ$  и  $\theta_2 = 120^\circ$ , отличаются друг от друга в  $n = 2$  раза. Считая, что рассеяние происходит на свободных электронах, найти длину волны падающего излучения.

134. Фотон с энергией  $\varepsilon = 1$  МэВ рассеялся, на свободном электроне. Найти кинетическую энергию электрона отдачи, если в результате длина волны изменилась на 25%.

135. Фотон с длиной волны  $\lambda = 6$  пм рассеялся под прямым углом на свободном электроне. Найти частоту рассеянного фотона.

136. Найти длину волны рентгеновского излучения, если максимальная кинетическая энергия комптоновских электронов  $T = 0,19$  МэВ.

137. Фотон с энергией  $\varepsilon = 250$  кэВ рассеялся под углом  $\theta = 120^\circ$  на первоначально покоившемся свободном электроне. Определить энергию рассеянного фотона.

138. Фотон с импульсом  $p_1 = 1,02 \frac{\text{МэВ}}{c}$ , где  $c$  - скорость света, рассеялся на свободном электроне, в результате чего импульс фотона стал  $p_2 = 0,255 \frac{\text{МэВ}}{c}$ . Под каким углом рассеялся фотон?

138. Фотон рассеялся под углом  $\theta = 120^\circ$  на свободном электроне, в результате чего электрон получил кинетическую энергию  $T = 0,45$  МэВ. Найти энергию фотона до рассеяния.

140. Фотон с энергией  $\varepsilon = 0,15$  МэВ рассеялся на свободном электроне, в результате чего его длина волны изменилась на  $\Delta\lambda = 3$  пм. Найти угол, под которым вылетел комптоновский электрон?

141. Фотон длины волны  $\lambda = 700$  нм рассеивается под углом  $\theta = 60^\circ$  на свободном покоящемся электроне. Определить, какую долю первоначальной энергии теряет при этом фотон.

142. При комптоновском рассеянии рентгеновских лучей один из квантов, обладавший до столкновения со свободным электроном энергией 0,52 МэВ, после столкновения изменил длину волны на 50%. Определить: 1) энергию, переданную квантом свободному электрону, и 2) угол отклонения кванта от первоначального направления.

143. Фотон с энергией  $\varepsilon = 0,12$  МэВ рассеялся под углом  $\theta = 180^\circ$  на покоившемся свободном электроне. Определите, сколько процентов энергии фотон передал электрону.

144. Рентгеновское излучение с длиной волны  $\lambda = 58,3$  пм рассеивается плиткой графита. Определить длину волны лучей, рассеянных под углом  $\theta = 120^\circ$  к первоначальному направлению рентгеновских лучей.

145.  $\gamma$  - лучи с длиной волны  $\lambda = 2,7$  пм испытывают комптоновское рассеяние. Во сколько раз длина волны излучения, рассеянного под углом  $\theta = 180^\circ$  к первоначальному направлению, больше длины волны падающего излучения?

146. Фотон жестких рентгеновских лучей  $\lambda = 24$  пм при соударении со свободным электроном передал ему 9% своей энергии. Определить длину волны рассеянного рентгеновского излучения.

147. Изменение длины волны рентгеновских лучей при комптоновском рассеянии  $\Delta\lambda = 2,4$  пм. Вычислить угол рассеяния и энергию, передаваемую при этом электронам отдачи, если длина волны рентгеновских лучей до взаимодействия  $\lambda = 10$  пм.

148. Какую энергию приобретает комптоновский электрон отдачи при рассеянии фотона под углом  $\theta = 60^\circ$ , если длина волны падающего фотона  $\lambda = 3$  пм?

149. Вычислить комптоновское смещение и относительное изменение длины волны для видимого света ( $\lambda_1 = 500$  нм) и  $\gamma$  -лучей ( $\lambda_2 = 5$  п) м при рассеянии на свободных электронах. Угол рассеяния  $\theta = 90^\circ$ .

150. Фотон с энергией  $\varepsilon = 0,75$  МэВ рассеялся на свободном электроне под углом  $\theta = 60^\circ$ . Найти энергию рассеянного фотона  $\varepsilon$ , кинетическую энергию и импульс электрона отдачи. Кинетической энергией электрона до соударения пренебречь.

151. Давление излучения на плоское зеркало  $p = 0,2$  Па. Определить интенсивность света, падающего на поверхность зеркала с коэффициентом отражения  $\rho = 0,6$ . Считать, что световой поток нормально падает на поверхность зеркала.

152. Световой поток мощность  $N = 9$  Вт нормально падает на поверхность площадью  $S = 10$  см<sup>2</sup>, коэффициент отражения которой  $\rho = 0,8$ . Какое давление испытывает при этом данная поверхность?

153. На поверхность площадью  $S = 10$  см<sup>2</sup>, падает пучок фотонов интенсивностью  $n = 10^{18}$  с<sup>-1</sup>. Длина волны падающего света  $\lambda = 500$  нм. Определить световое давление на поверхность, если коэффициент отражения поверхности  $\rho = 0,7$ .

154. Электрическая лампа рассчитана на мощность  $N = 45$  Вт. Вычислить давление лучистой энергии на зеркальную поверхность с коэффициентом отражения  $\rho = 1$ , расположенную нормально к падающим лучам на расстоянии  $r = 1$  м от лампы.

155. Наибольшая электрическая дуга, расходующая на излучение  $N = 600$  Вт, расположена в центре кривизны вогнутого зеркала поверхностью  $S = 300$  см<sup>2</sup>. Допуская, что дуга излучает равномерно по всем направлениям, определить силу давления света на зеркало. Радиус кривизны зеркала  $R = 10$  см; зеркало считать идеально отражающим.

156. Поток энергии, излучаемый электрической лампой,  $\Phi = 600$  Вт. На расстоянии  $r = 1$  м от лампы перпендикулярно падающим лучам расположено круглое плоское зеркальце диаметром  $d = 2$  см. Определить силу  $F$  светового давления на зеркальце. Лампу рассматривать как точечный изотропный излучатель.

157. Параллельный пучок монохроматических лучей с длиной волны  $\lambda = 0,663$  мкм падает на зачерненную поверхность и производит на нее давление  $p = 0,3$  мкПа. Определить концентрацию  $n$  фотонов в световом пучке.

158. Определите давление света на стенки электрической лампы мощностью  $N = 500$  Вт. Колба лампы имеет форму шара с радиусом  $r = 80$  мм. Стенки лампы отражают 10 % падающего света. (При решении задачи не учитывать повторные отражения от стенок лампы, пренебречь поглощением света и считать, что вся потребляемая мощность идет на излучение).

159. Монохроматическая световая волна падает нормально на зеркальную поверхность с коэффициентом отражения  $\rho = 0,08$  и оказывает на нее давление равное  $p = 3,0 \cdot \text{Па}$ . Определить амплитудное значение напряженности электрического поля световой волны.

160. Плоская световая волна падает нормально на плоское круглое зеркало радиусом  $r = 3,0$  см с коэффициентом отражения  $\rho = 0,70$ . Сила давления света на зеркало равна  $F = 1,2 \cdot 10^{-10}$  Н. Определить интенсивность падающего света.

161. Определите давление солнечного излучения на квадратный метр земной поверхности (считая её абсолютно черной), перпендикулярный к направлению излучения. Средний поток солнечной, радиации в этом направлении через площадку  $S = 1$  см<sup>2</sup> равен  $\Phi = 0,14$  Вт.

162. Точечный источник монохроматического ( $\lambda = 1$  нм) излучения находится в центре сферической зачерненной колбы радиуса  $R = 10$  см. Определить световое давление  $P$ , производимое на внутреннюю поверхность колбы, если мощность источника  $N = 1$  кВт.

163. Плоское квадратное зеркало со стороной,  $a = 10$  см освещается нормально падающим светом с длиной волны  $\lambda = 0,60$  мкм. Коэффициент отражения зеркала равен  $\rho = 0,82$ . Определить, сколько падает фотонов в одну секунду на зеркало, если давление света на него равно

$$P = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{Па}$$

164. Определить энергетическую освещенность (облученность) зеркальной поверхности, если давление, производимое излучением,

$$P = 40 \text{ мкПа. Лучи падают нормально к поверхности.}$$

165. Давление света длиной волны  $\lambda = 400$  нм, падающего нормально на радиус поверхность, равно  $P = 2$  мПа. Определить число  $N$  фотонов, падающих за время  $t = 10$  с на площадь  $S = 1$  мм<sup>2</sup> этой поверхности.

166. Определить коэффициент  $\rho$  отражения поверхности, если яри энергетической освещенности  $E_e = 120 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  давление  $p$  света на нее оказалось равным  $p = 0,05$  мкПа.

167. Давление света производимое на зеркальную поверхность,  $p = 4$  мПа. Определить концентрацию  $n$  фотонов вблизи поверхности, если длина волны света, падающего на поверхность,  $\lambda = 0,5$  мкм.

168. На расстоянии  $r = 5$  м от точечного монохроматического ( $\lambda = 0,5$  мкм) изотропного источника расположена площадка ( $S = 8$  мм<sup>2</sup>) перпендикулярно падающим - пучкам. Определить число  $N$  фотонов, ежесекундно падающих на площадку. Мощность излучения  $N = 100$  Вт .

169. Свет с длиной волны  $\lambda = 300$  нм нормально падает на зеркальную поверхность и производит на нее давление  $p = 4$  мкПа. Определить число  $N$  фотонов падающих за время  $t = 10$  с на площадь  $S = 1$  мм<sup>2</sup> этой поверхности.

170. На зеркальную поверхность площадью  $S = 6$  см<sup>2</sup> падает нормально поток излучения  $\Phi = 0,8$  Вт . Определись давление  $p$  света на эту поверхность.

171. Монохроматический свет ( $\lambda = 0,48$  мкм ) падает нормально на плоское круглое зеркало радиусом  $R = 10$  см с коэффициентом отражения  $\rho = 0,60$  . Давление, оказываемое светом, равно  $p = 3,0 * 10^{-5}$  Па . Определить число фотонов, падающих ежесекундно на зеркало.

172. Световая волна интенсивностью  $E_e = 0,70 \frac{\text{кВт}}{\text{м}}$  падает нормально на плоское круглое зеркало радиусом  $R = 20$  см с коэффициентом отражения  $\rho = 0,80$  . Определить силу давления свете на зеркале.

173. На плоское круглое зеркало радиусом  $R = 50$  мм с коэффициентом отражения  $\rho = 0,80$  ежесекундно падает в направлении нормали к зеркалу  $N = 0,80 * 10^{20}$  фотонов желтого света ( $\lambda = 0,60$  мкм ) Определить давление света на зеркало.

174. Определить поверхностную плотность потока энергии излучения, падающего на зеркальную поверхность, если световое давление при перпендикулярном падении лучей  $p = 10$  мкПа.

175. Давление монохроматического света ( $\lambda = 600$  нм ) на черную поверхность, расположенную перпендикулярно падающим лучам,  $p = 0,1$  мкПа . Определить число фотонов падающих за время  $t = 1$  с на поверхность площадью  $S = 1$  см<sup>2</sup>.

176. Монохроматическое излучение с длиной волны  $\lambda = 500$  нм падает нормально на плоскую зеркальную поверхность и давит на нее с силой  $F = 10$  мН . Определить число фотонов, ежесекундно падающих на эту поверхность.

177. Параллельный пучок монохроматического света ( $\lambda = 662$  нм) падает на зачерненную поверхность и производит на нее давление  $p = 0,3$  мкПа. Определить концентрацию фотонов в световом пучке.

178. Найти световое давление  $p$  на стенки электрической 100-ваттной лампы. Колба лампы представляет собой сферический сосуд радиусом  $R = 5$  см. Стенки лампы отражают 4% и пропускают 6% падающего на них света. Считать, что вся потребляемая мощность идет на излучение.

179. Параллельный пучок света длиной волны  $\lambda = 500$  нм падает нормально на зачерненную поверхность, производя давление  $p = 10$  мкПа. Определить число фотонов падающих на поверхность площадью  $S = 1$  м<sup>2</sup> за время  $t = 1$  с.

180. На поверхность площадью  $S = 0,01$  м<sup>2</sup> в единицу времени падает световая энергия  $E = 1,05 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$ . Найти световое давление в случаях, когда поверхность полностью отражает и полностью поглощает падающие на нее лучи.

181. Монохроматический пучок света ( $\lambda = 490$  нм), падая по нормали к поверхности, производит световое давление  $p = 4,9$  мкПа. Какое число фотонов падает в единицу времени на единицу площади этой поверхности? Коэффициент отражения света  $\rho = 0,25$ .

182. Колба электрической лампы представляет собой сферу радиусом  $R = 3$  см. Часть стенки колбы изнутри посеребрена. Лампа потребляет мощность  $N = 60$  Вт, 80% которой затрачивается на излучение. Определить, во сколько раз давление газа в колбе ( $p = 13,3$  мкПа) меньше светового давления на посеребренную часть стойки колбы с коэффициентом отражения  $\rho = 0,8$ .

183. Определить диаметр шарообразного спутника, движущегося вокруг земли, если сила давления солнечного света на спутник  $F = 11,2$  мН, коэффициент отражения света от поверхности спутника  $\rho = 1$ , солнечная постоянная  $C = 1,4 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$ . Поглощением солнечного света в атмосфере пренебречь.

184. Плотность потока световой энергии на поверхности  $I = \frac{7 \text{ кВт}}{\text{м}^2}$ . Найти световое давление для случаев, когда поверхность; 1) полностью отражает все лучи; 2) полностью поглощает все падающие на нее лучи.

185. Накаленная нить проходит по оси цилиндра длиной  $l = 10$  см и радиусом  $R = 5$  см. Нить излучает световой поток мощностью

$N = 600$  Вт. Считая световой поток симметричным относительно нити накала, определить давление света на поверхность цилиндра. Коэффициент отражения цилиндра  $\rho = 0,1$ .

186. Поток монохроматических лучей с длиной волны  $\lambda = 600$  нм падает нормально на пластинку с коэффициентом отражения  $\rho = 0,2$ . Сколько фотонов ежесекундно падает на пластинку, если давление лучей на пластинку составляет  $p = 10^{-7}$  Па?

187. На зеркальную поверхность площадью  $S = 0,8$  м<sup>2</sup> нормально падает  $N = 14 \cdot 10^{18}$  квантов в секунду. Найти длину волны падающего света если давление его равно  $P = 10^{-8}$  Па.

188. Поток света ( $\lambda = 0,56$  мкм) падает нормально на черную поверхность, производя давление  $p = 4$  мкПа. Определить концентрацию фотонов вблизи поверхности.

189. Определить силу светового давления на черную поверхность площадью  $S = 100 \text{ см}^2$  если интенсивность светового потока, падающего нормально на эту поверхность, равна  $I = 0,3 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$

190. Определять световое давление на плоскую поверхность с коэффициентом отражения  $\rho = 0,8$  при падении на нее под углом  $\alpha = 60^\circ$  световой волны интенсивностью  $I = 0,5 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$ .

191. Баллон электрической лампы мощностью  $N = 100 \text{ Вт}$  представляет собой сферический сосуд радиусом  $R = 5 \text{ см}$ . Стенки лампы отражают 10 % падающего на них света. Полагая, что вся потребляемая мощность идет на излучение, определите давление света на стенки лампы.

192. Плоская световая волна интенсивности  $I = 0,2 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$  падает на плоскую зеркальную поверхность с коэффициентом отражения  $\rho = 0,8$ . Угол падения  $\alpha = 45^\circ$ . Определить нормальное давление, которое оказывает свет на эту поверхность.

193. Плоская световая волна интенсивности  $I = 0,7 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$  освещает шар с абсолютно зеркальной поверхностью. Радиус шара  $R = 0,03 \text{ м}$ . Найти силу светового давления, испытываемую шаром.

194\*. Волосок лампы накаливания, рассчитанной на напряжение  $U = 2 \text{ В}$ , имеет длину  $l = 10 \text{ см}$  и диаметр  $d = 0,03 \text{ мм}$ . Полагая, что волосок излучает как абсолютно черное тело, определите температуру нити и длину волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения. Вследствие теплопроводности лампа рассеивает 8% потребляемой мощности, удельное сопротивление материала волоска  $\rho = 5,5 * 10^{-8} \text{ Ом} * \text{м}$ ,

195\*. В спектре излучения огненного шара, радиусом  $R = 100 \text{ м}$ , возникающего при ядерном взрыве, максимум энергии излучения приходится на длину волны  $\lambda = 0,289 \text{ мкм}$ . Определите температуру поверхности шара; энергию, излучаемую поверхностью шара за время  $t = 10^{-3} \text{ с}$ ; максимальное расстояние, на котором будут воспламеняться деревянные предметы, если их поглощательная способность  $\rho = 0,7$ . Теплота воспламенения сухого дерева  $5 * 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}$ .

196\*. По тонкой нихромовой пластинке шириной  $a = 1 \text{ см}$  и площадью поперечного сечения  $S = 0,001 \text{ см}^2$  идет ток. Коэффициент поглощения пластинки  $\rho = 0,34$ . При каком значении силы тока пластинка будет наиболее эффективным источником света, если максимальная чувствительность человеческого глаза соответствует электромагнитному излучению с длиной волны  $\lambda = 0,550 \text{ мкм}$ ?

197\*. Медный шарик диаметром  $d = 1,2 \text{ см}$  поместили в откачанный сосуд, температура стенок которого поддерживается близкой к абсолютному нулю. Начальная температура шарика  $T_0 = 300^\circ\text{К}$ . Считая поверхность шарика абсолютно черной, найти через сколько времени его температура уменьшится в два раза.

198\*. Определить поглощательную способность серого тела, имеющего температуру  $T = 1000^\circ\text{K}$ , если его поверхность площадью  $S = 10^{-2} \text{ м}^2$  излучает за  $t = 1$  мин энергию  $W = 13,4$  кДж.

199\*. Плоский алюминиевый электрод освещается ультрафиолетовым светом с длиной волны  $\lambda = 83$  нм. На какое максимальное расстояние от поверхности электрода может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода имеется задерживающее электрическое поле напряженности  $E = 7,5 \frac{\text{В}}{\text{см}}$ ? Красная граница фотоэффекта для алюминия соответствует длине волны  $\lambda_0 = 332$  нм.

200\*. Излучение аргонового лазера с длиной волны  $\lambda = 500$  нм сфокусировано на плоском фотокатоде в пятно диаметра  $d = 1$  мм. Работа вывода фотокатода  $A = 2$  эВ. На анод, расположенный на расстоянии  $l = 30$  мм от катода, подано ускоряющее напряжение  $U = 4$  кВ. Найти диаметр пятна фотоэлектронов на аноде. Анод считать плоским и расположенным параллельно поверхности катода.

201\*. Электромагнитное излучение с длиной волны  $\lambda = 0,3$  мкм падает на фотоэлемент, находящийся в режиме насыщения. Соответствующая спектральная чувствительность фотоэлемента  $I = 4,8 \frac{\text{мА}}{\text{Вт}}$ . Найти выход фотоэлектронов на каждый падающий фотон.

202\*. Между точечной лампой и фотоэлементом на расстоянии  $l = 20$  см от лампы помещена линза диаметром  $d = 10$  см с оптической силой  $D = 5$  дптр. Определите ток насыщения в цепи фотоэлемента, если чувствительность фотоэлемента  $i = 20 \frac{\text{мкА}}{\text{лм}}$ , рабочая площадь катода

$S = 20$  см<sup>2</sup>, сила света лампы  $I = 60$  кд и коэффициент пропускания линзы  $\tau = 0,9$ .

203\*. При некотором минимальном значении задерживающей разности потенциалов фототок с поверхности лития, освещаемого светом с частотой  $\nu_0$ , прекращается. Изменив частоту света в  $n_1 = 1,8$  раза, установили, что для прекращения фототока достаточно увеличить задерживающую разность потенциалов в  $n_2 = 2$  раза. Чему равна частота падающего света?

204\*. Угол рассеяния фотона в эффекте Комптона равен  $\theta$ , угол отдачи электрона  $\alpha$ . Определить энергию фотона до рассеяния. Сделать расчет для  $\theta = 90^\circ$ ,  $\alpha = 30^\circ$ .

205\*. Фотон с энергией, в два раза превышающей энергию покоя электрона, испытал лобовое столкновение с покоившимся свободным электроном. Найти радиус кривизны траектории электронов отдачи в магнитном поле с индукцией  $B = 0,12$  Тл. Предполагается, что электрон отдачи движется перпендикулярно к направлению поля.

206\*. Фотон с импульсом  $p = 1,02 \frac{\text{МэВ}}{c}$ , где  $c$  - скорость света, рассеялся на покоившемся свободном электроне, в результате чего импульс фотона стал  $p' = 0,255 \frac{\text{МэВ}}{c}$ . Под каким углом рассеялся фотон?

207\*. Электрон с энергией  $\varepsilon = 5$  ГэВ сталкивается "в лоб" с летящим ему навстречу фотоном видимого света ( $\varepsilon_1 = 1$  ГэВ). Найти энергию

отразившегося фотона. (Это явление называется обратным Комптон - эффектом).

208\*. При столкновении с релятивистским электроном фотон, обладающий энергией покоя электрона, рассеялся под углом  $\theta = 60^\circ$ , а электрон остановился. Определите комптоновское смещение длины волны рассеянного кванта и кинетическую энергию электрона до столкновения.

209\*. Рубиновый лазер излучает в импульсе длительностью  $\tau = 0,1$  мс энергию  $W = 10$  Дж в виде узкого, почти параллельного пучка монохроматического света. Найдите среднее за время импульса давление пучка света, если его сфокусировать в пятнышко диаметром  $d = 10$  мкм на поверхность, перпендикулярную пучку, с коэффициентом отражения  $\rho = 0,5$ .

210\*. Какой диаметр должен иметь алюминиевый шарик, находящийся в космическом пространстве, чтобы его притяжение к Солнцу уравновешивалось силой давления солнечных лучей? Коэффициент отражения шарика  $\rho = 0,9$ . При решении задачи считать, что Солнце излучает как абсолютно черное тело, поверхность которого температуру  $T = 6000^\circ\text{K}$ .

211\*. На оси круглой абсолютно зеркальной пластинки находится точечный изотропный источник, световая мощность которого  $N$ . Расстояние между источником и пластинкой в  $n$  раз больше её радиуса. Найти силу светового давления, испытываемую пластинкой.

212\*. Небольшое идеально отражающее зеркальце массой  $m = 10$  мг подвешено на невесомой нити длиной  $l = 10$  см. Найти угол, на который отклонится нить, если по нормали к зеркальцу в горизонтальном направлении произвести “выстрел” коротким импульсом лазерного излучения с энергией  $E = 13$  Дж.



**ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ И ФИЗИКИ АТОМОВ**

**Контрольные вопросы:**

1. Какие закономерности наблюдаются в спектре атома водорода? Какой общей формулой они записываются?
2. Что представляет из себя модель атома Резерфорда? В чем ее противоречие с классической электродинамикой?
3. Сформулируйте постулаты Бора. В чем заключается боровская теория атомов водорода? Каковы недостатки боровской теории атома?
4. В чем состоит гипотеза де Бройля? Как определить длину волны де Бройля? Чем отличается квантово-механический подход к описанию поведения частиц от классического? Каков смысл волн де Бройля?
5. Сформулируйте принцип неопределенности Гейзенберга. Запишите соотношение неопределенности для координат и составляющих импульса частицы, для энергии и времени.
6. Что такое волновая функция? Каков физический смысл волновой физики? Решением какого уравнения она является? Как записать уравнение Шредингера для свободной частицы?
7. Запишите уравнение Шредингера для микрочастиц, находящийся в бесконечно глубокой потенциальной яме. Каковы правила квантования волнового числа, импульса и энергии микрочастица в этом случае?
8. Запишите уравнение Шредингера для микрочастицы, находящийся в потенциальной яме конечной глубины? Какой вид имеет волновая функция микрочастицы в пределах потенциальной ямы и на потенциальном барьере, если энергия микрочастицы меньше высоты потенциального барьера? больше высоты потенциального барьера?
9. Что такое прозрачность потенциального барьера? В чем заключается туннельный эффект?
10. Запишите уравнение Шредингера для электрона в атоме водорода. От каких физических характеристик зависит волновая функция электрона? Что такое спин электрона? Каков смысл квантовых чисел?
11. Как распределяются электроны по энергетическим состояниям в многоэлектронных атомах? Сформулируйте принцип Паули.

**Методические указания к решению задач.**

При решении задач этого раздела нужно помнить, что в квантовой механике каждой микрочастице сопоставляется волна, описываемая волновой функцией и длина волны которой определяется по формуле де Бройля. Длина волны де Бройля зависит от импульса частицы, потому при ее определении нужно обратить внимание на значение скорости частицы. При малых скоростях движения импульса частицу можно определить по законам классической механики; при больших скоростях нужно учесть релятивистские

эффекты зависимости массы от скорости. Волны де Бройля, как и любой другой волновой процесс, представляют себя явлениях интерференции и дифракции, закономерности которых изучены в предыдущих разделах.

Соотношения непосредственностей Гейзенберга записываются только для сопряженных величин, какими являются координаты частицы и соответствующие им составляющие импульса частицы, энергия частицы и время жизни в этом энергетическом состоянии.

Волновая функция, описывающая поведение микрочастицы и являющаяся решением уравнения Шредингера, имеет статистический смысл, т.е. квадрат модуля волновой функции определяет вероятность нахождения частицы в данном состоянии. Вид волновой функции зависит от формы потенциального поля, в котором движется микрочастица, т.к. волновое число, описывающее координатную часть волновой функции, связано с импульсом частицы, который в свою очередь связан с кинетической энергией частицы. А кинетическая энергия в этом случае равна разности между полной и значением потенциальной энергии в данном месте поля.

Примером движения микрочастицы в потенциальном поле является движение электрона в атоме. Решение уравнения Шредингера для атома водорода приводит к тем же результатам, что и теория Бора, т.к. атом водорода представляет собой простейшую систему взаимодействующих частиц. Но для более сложных атомов теория Бора уже не применима. Волновая функция электрона в атоме зависит от трех физических характеристик (энергия, орбитального момента импульса и спина-собственного момента импульса), которые описываются четырьмя квантовыми числами. В многоэлектронных атомах поведение электронов подчиняется принципу Паули.

## Примеры решения задач

### Задача 1.

Электрон, начальной скоростью которого можно пренебречь, прошел ускоряющую разность потенциалов  $U$ . Найти длину волны де Бройля  $\lambda$  для двух случаев: 1)  $U_1 = 51$  В; 2)  $U_2 = 510$  кВ.

### Решение.

Длина волны де Бройля  $\lambda$  частицы зависит от ее импульса  $p$  и определяется формулой

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (1)$$

где  $h$  – постоянная Планка.

Импульс частицы можно определить, если известна ее кинетическая энергия  $W_k$ . Связь импульса с кинетической энергией различна для нерелятивистского случая (когда кинетическая энергия частицы много меньше ее энергии покоя) и для релятивистского случая (когда кинетическая энергия сравнима с энергией покоя частицы).

В нерелятивистском случае

$$p = \sqrt{2m_0W_k} \quad (2),$$

где  $m_0$  - масса покоя частицы.

В релятивистском случае 
$$p = \frac{1}{c} \sqrt{(2E_0 + W_k)W_k} \quad (3),$$

где  $E_0 = m_0c^2$  – энергия покоя частицы.

Формула (1) с учетом соотношений (2) и (3) запишется в нерелятивистском случае:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0W_k}} \quad (4)$$

В релятивистском случае 
$$\lambda = \frac{h}{\frac{1}{c} \sqrt{(2E_0 + W_k)W_k}} \quad (5)$$

Сравним кинетические энергии электрона, прошедшего заданные в условии задачи разности потенциалов  $U_1 = 51$  В и  $U_2 = 510$  кВ, с энергией покоя электрона и в зависимости от этого решим вопрос, которую из формул (4) и (5) следует применить для вычисления длины волны де Бройля.

Как известно, кинетическая энергия электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов  $U$ ,

$$W_k = eU$$

В первом случае  $W_1 = eU_1 = 51 \text{ эВ} = 0,51 \cdot 10^{-4}$  МэВ, что много энергии покоя электрона  $E_0 = m_0c^2 = 0,51$  МэВ. Следовательно, в этом случае можно применить формулу (4).

Для упрощения расчетов заметим, что  $W_1 = 10^{-4} m_0c^2$ . Подставив это выражение в формулу (4), перепишем ее в виде:

$$\lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2m_0 \cdot 10^{-4} m_0c^2}} = \frac{10^2 h}{\sqrt{2} m_0c}$$

Учтя, что  $\frac{h}{m_0c}$  есть комптоновская длина волны  $\Lambda$ , получим  $\lambda = \frac{10^2}{\sqrt{2}} \Lambda$

Так как  $\Lambda = 0,00243$  нм, то

$$\lambda_1 = \frac{10^2}{\sqrt{2}} \cdot 0,00243 \text{ нм} = 0,171 \text{ нм}$$

Во втором случае кинетическая энергия  $W_2 = eU_2 = 510 \text{ кэВ} = 0,51 \text{ МэВ}$

т.е. равна энергии покоя электрона. В этом случае необходимо применить релятивистскую формулу (5).

Учтя, что  $W_2 = 0,51 \text{ МэВ} = m_0c^2$ , по формуле (5) найдем  $\lambda_2 = \frac{h}{\frac{1}{c} \sqrt{(2m_0c^2 + m_0c^2)m_0c^2}} = \frac{h}{\sqrt{3}m_0c}$ , или  $\lambda_2 = \frac{\Lambda}{\sqrt{3}}$

Подставляем  $\Lambda$  и произведем вычисления

$$\lambda_2 = \frac{0,00243}{\sqrt{3}} \text{ нм} = 0,0014 \text{ нм.}$$

### Задача2.

Кинетическая энергия  $W_k$  электрона в атоме водорода составляет величину порядка 10 эВ. Используя соотношение неопределенностей, оценить минимальные линейные размеры атома.

### Решение.

Соотношение неопределенности для координаты и импульса имеет вид:  
 $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h, (1)$

где  $\Delta x$  – неопределенность координаты частицы (в данном случае электрона);  $\Delta p_x$  – неопределенность импульса частицы (электрона);  $h$  – постоянная Планка, деленная на  $2\pi$ .

Из отношения неопределенностей следует, что точнее определяется положение частицы в пространстве, тем более неопределенным становится импульс, а следовательно, и энергия частицы. Пусть атом имеет линейные размеры  $\ell$ , тогда электрон атома будет находиться где – то в пределах области с неопределенностью  $\Delta x = \frac{\ell}{2}$ .

Соотношение неопределенностей (1) можно записать в этом случае в виде

$$\frac{\ell}{2} \cdot \Delta p_x \geq h \quad (2)$$

откуда 
$$\frac{\ell}{2} \geq \frac{h}{\Delta p_x} \quad (3)$$

Физически разумная неопределенность импульса  $\Delta p_x$ , во всяком случае, не должна превышать значения самого импульса  $p$ , т.е.  $\Delta p_x \leq p$

Импульс  $p$  связан с кинетической энергией  $W_k$  соотношением  $p = \sqrt{2mW_k}$ .

Заменим  $\Delta p_x$  значением  $\sqrt{2mW_k}$  (такая замена не увеличит  $\ell$  )

Переходя от неравенства к равенству, получим  $\ell_{min} = \frac{2h}{\sqrt{2mW_k}}$

Подставим числовые значения и произведем вычисления:

$$l_{min} = \frac{2 \cdot 1,05 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10}} \text{ м} = 1,24 \cdot 10^{(-10)} \text{ м}$$

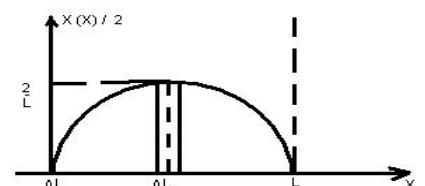
### Задача 3.

Волновая функция  $\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{\ell}} \sin \frac{\pi}{\ell} x$  описывает основное состояние частицы в бесконечно глубоком прямоугольном ящике шириной  $\ell$ . Вычислить вероятность нахождения частицы в малом интервале  $\Delta \ell = 0,01\ell$  в двух случаях: 1) вблизи стенки ( $0 \leq x \leq \Delta \ell$ ); 2) в средней части ящика ( $\frac{\ell}{2} - \frac{\Delta \ell}{2} \leq x \leq \frac{\ell}{2} + \frac{\Delta \ell}{2}$ ).

### Решение.

Вероятность того, что частица будет обнаружена в интервале  $dx$  (от  $x$  до  $x + dx$ ) пропорциональна этому интервалу и квадрату модуля волновой функции, описывающей данное состояние  $dw = |\psi(x)|^2 dx$

В первом случае искомая вероятность найдется интегрированием в пределах 0 до  $0,01\ell$  (рис.1):



$$w = \frac{2}{\ell} \int_0^{0,01\ell} \sin^2 \frac{\pi}{\ell} x dx$$

Знак модуля опущен, так как  $\psi$  – функция, в данном случае не является комплексной.

Так как  $x$  изменяется в интервале  $(0 \leq x \leq \Delta\ell)$  и, следовательно,  $\frac{\pi}{\ell}x$ , справедлива приближенное равенство  $\sin^2 \frac{\pi}{\ell}x \approx (\frac{\pi}{\ell}x)^2$ .

С учетом этого выражение (1) примет вид:  $w = \frac{2}{\ell} \int_0^{0,01\ell} (\frac{\pi}{\ell}x)^2 dx = \frac{2\pi^2}{\ell^2} \int_0^{0,01\ell} x^2 dx$

После интегрирования получим  $w = \frac{2\pi^2}{3} \cdot 10^{-6} = 6,6 \cdot 10^{-6}$

Во втором случае можно обойтись без интегрирования, так как квадрат модуля волновой функции вблизи ее максимума, в заданном интервале  $(\Delta\ell = 0,01\ell)$ , практически не изменяется. Искомая вероятность во втором случае определяется выражением

$$w = |\psi(\frac{\ell}{2})|^2 \Delta x.$$

или  $w = \frac{2}{\ell} (\sin \frac{\pi}{\ell} \cdot \frac{\ell}{2})^2 \cdot \Delta\ell = \frac{2}{\ell} \cdot 0,01\ell = 0,02.$

#### Задача4.

Электрон в атоме водорода перешел с четвертого энергетического уровня на второй. Определить : 1) энергию испущенного при этом фотона; 2) изменение орбитального магнитного момента атома водорода.

#### Решение.

1. Для определения энергии фотона воспользуемся формулой для водородоподобных ионов:

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (1)$$

где  $\lambda$  - длина волны фотона,  $R$  – постоянная Ридберга,  $Z$  – заряд ядра в относительных единицах (при  $Z = 1$  формула переходит в серийную формулу для водорода),  $n_1$  – номер орбита, на которую перешел электрон,  $n_2$  – номер орбиты, с которой перешел электрон ( $n_1$  и  $n_2$  – главные квантовые числа).

Энергия фотона  $W$  выражается формулой:  $W = \frac{hc}{\lambda}$

Поэтому, умножив обе части равенства (1) на  $hc$ , получим выражение для энергии фотона:  $W = RhcZ^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$

Так как величина  $Rhc$  есть энергия ионизации  $I_0$  (потенциальная ионизация) атома водорода, то  $W = I_0Z^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$

Вычисления выполним во внесистемных единицах:  $I_0 = 13,6 \text{ эВ}$

$Z = 1$  (заряд ядра атома водорода в относительных единицах, где за единицу заряда принято абсолютное значение заряда электрона),  $n_1 = 2$ ,  $n_2 = 4$ .

$$W = 13,6 \cdot 1^2 \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) \text{эВ} = 13,6 \cdot \frac{3}{16} = 2,55 \text{эВ}$$

2. изменение орбитального магнитного момента можно найти, используя связь между орбитальным моментом импульса  $\mathcal{L}$  и орбитальным магнитным моментом  $P_m$  (гиромагнитное отношение), т.е. где  $\frac{P_m}{\mathcal{L}} = \frac{1}{2} \frac{e}{m}$ ,

$m$  – масса электрона,  $e$  – заряд электрона.

отсюда 
$$P_m = \frac{e}{2m} \mathcal{L} \quad (2)$$

орбитальный момент импульса  $\mathcal{L}$  определим из второго постулата Бора, согласно которому орбитальный момент импульса электрона в атоме водорода равен произведению целого числа  $n$  (главное квантовое число) на  $h$  ( $h$  – постоянная Планка) т.е.

$$\mathcal{L} = hn$$

Подставляя  $\mathcal{L}$  в (2), получим: 
$$P_m = \frac{e}{2m} hn$$

или 
$$P_m = \mu_0 n,$$

где  $\mu_0 = \frac{eh}{2m}$  – магнетон Бора.

Изменения орбитального магнитного момента найдем как разность магнитных моментов начального ( $n_2=4$ ) и конечного ( $n_1=2$ ) состояний атома водорода:

$$\Delta P_m = P_{m2} - P_{m1} = \mu_0 n_2 - \mu_0 n_1$$

$$\Delta P_m = \mu_0 (n_2 - n_1)$$

Подставив значения магнетона Бора  $\mu_0 = 0,927 \cdot 10^{-23}$  Дж/Тл и значения квантовых чисел, найдем изменение магнитного момента:

$$\Delta P_m = 0,927 \cdot 10^{-23} (4 - 2) \frac{\text{Дж}}{\text{Тл}} = 1,854 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{Тл}}$$

**Таблица вариантов к теме 14**

<b>№ вариан та</b>	<b>Номера задач</b>				<b>№ варианта</b>	<b>Номера задач</b>				<b>Задачи для сам. работы</b>
<b>1</b>	1	41	67	104	<b>26</b>	11	54	87	129	123
<b>2</b>	2	44	68	105	<b>27</b>	13	55	88	130	124
<b>3</b>	5	46	69	106	<b>28</b>	15	56	89	131	125
<b>4</b>	7	47	70	107	<b>29</b>	16	58	100	132	126
<b>5</b>	9	48	71	108	<b>30</b>	17	60	101	133	127
<b>6</b>	12	50	72	109	<b>31</b>	18	61	102	134	128
<b>7</b>	14	51	73	110	<b>32</b>	19	62	103	135	129
<b>8</b>	20	53	74	111	<b>33</b>	21	63	72	136	130
<b>9</b>	22	57	75	112	<b>34</b>	23	64	73	137	131
<b>10</b>	26	59	76	113	<b>35</b>	24	42	74	138	132
<b>11</b>	31	65	77	114	<b>36</b>	25	43	75	139	133
<b>12</b>	33	66	78	115	<b>37</b>	27	45	76	104	134
<b>13</b>	40	41	79	116	<b>38</b>	28	49	77	105	135
<b>14</b>	3	44	80	117	<b>39</b>	29	52	78	106	136
<b>15</b>	4	46	81	118	<b>40</b>	30	54	79	107	137
<b>16</b>	6	47	67	119	<b>41</b>	32	55	80	108	138
<b>17</b>	7	48	8	120	<b>42</b>	34	56	81	109	139
<b>18</b>	9	50	69	121	<b>43</b>	35	58	82	110	140
<b>19</b>	12	51	70	122	<b>44</b>	36	60	83	111	141
<b>20</b>	14	53	71	123	<b>45</b>	37	61	84	112	142
<b>21</b>	3	42	82	124	<b>46</b>	38	62	85	113	143
<b>22</b>	4	43	83	125	<b>47</b>	39	63	86	114	144
<b>23</b>	6	45	84	126	<b>48</b>	34	64	87	115	145
<b>24</b>	8	49	85	127	<b>49</b>	35	65	88	116	146
<b>25</b>	10	52	86	128	<b>50</b>	36	66	89	117	147

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Определить длину волны де Бройля  $\alpha$  -частиц, прошедших разность потенциалов : 1) 200 В ; 2) 100 кВ.

2. Вычислить длину волны де Бройля электрона, обладающего кинетической энергией  $W_k = 1$  эВ.

3. Коротковолновая граница рентгеновского спектра  $\lambda = 0,2 \cdot 10^{-10}$  м . Определить, длину волны де Бройля электронов, бомбардируемых антикатод.

4. Скорость электронов равна  $v = 0,8 c$  . Найти длину волны де Бройля электронов.

5. Длина волны де Бройля электрона равна  $\lambda = 1,3$  нм. Определить скорость электрона.

6. Длина волны де Бройля электрона уменьшилась от 1 нм до 0,5 нм. На сколько изменилась энергия электрона?

7. Энергия возбужденного атома водорода  $W = 0,85$  эВ . Вычислить длину волны де Бройля электрона на этой орбите.

8. Определить длину волны де Бройля для электрона, находящегося на второй боровской орбите в атоме водорода, если радиус орбиты равен  $r_2 = 0,212$  нм.

9. Длина волны де Бройля электрона равна  $\lambda = 0,05$  нм какую ускоряющую разность потенциалов прошел электрон?

10. Электрон обладает кинетической энергией  $W_k = 0,51$  МэВ . Во сколько раз изменится длина волны де Бройля, если кинетическая энергия  $W_k$  электрона возрастет в двое?

11. Определить кинетическую энергию  $W_k$  электрона, дебройлевская длина волны которого равна комптоновской длине волны.

12. Определить длины волн де Бройля электрона и протона прошедших  $U = 100$  В.

13. Электрон обладает кинетической энергией  $W_k = 100$  эВ . Определить величину дополнительной энергии  $\Delta W$  , которую необходимо сообщить электрону для того, что бы дебройлевская длина волны уменьшилась вдвое.

14. Определить длину волны  $\lambda$  де Бройля для частицы массой  $m = 1$  г , движущейся со скоростью  $v = 100 \frac{m}{c}$  . Нужно ли учитывать в этом случае волновые свойства частицы?

15. Кинетическая энергия  $W_k$  электрона равна удвоенному значению его энергии поля ( $2m_0c^2$  ). Вычислить длину волны де Бройлера  $\lambda$  для такого электрона.

16. Определить массу движущегося с большой скоростью электрона, если длина волны де Бройлера равна  $\lambda = 1,21 \cdot 10^{-12}$  м.

17. Ускоренный электрон имеет длину волны де Бройля  $\lambda = 1,2 \cdot 10^{-10}$  м. Найти импульс (количество движения) электрона и разность потенциалов, которая потребовалась для такого ускорения электрона. Учтите зависимость массы электрона от скорости.

18. Электрон, движущийся со скоростью  $v = 6 \cdot 10^6 \frac{m}{c}$  , попадает в продольное ускоряющее однородное электрическое поле напряженностью



$E = 500 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ . Какое расстояние должен пролететь электрон в таком электрическом поле, чтобы длина волны де Бройля стала для него  $\lambda = 0,1 \text{ нм}$ ?

19. Электрон движется по окружности радиусом  $r = 5 \text{ мм}$  в однородном магнитном поле, напряженность которого  $H = 3300 \frac{\text{А}}{\text{м}}$ . Определите длину волны де Бройля для электрона. Изменение массы в зависимости от скорости не учитывайте.

20. Вычислить длину волны  $\lambda$  де Бройля для электрона обладающего кинетической энергией  $W = 13,6 \text{ эВ}$  (энергия ионизации атома водорода). Сравнить полученное значение  $\lambda$  с диаметром атома водорода. Нужно ли учитывать волновые свойства электрона при изучении движения электрона в атоме водорода? Диаметр атома водорода принять равным удвоенному значению Боровского радиуса.

21. При анализе рассеяния  $\alpha$  - частиц на ядрах (опыта Резерфорда) прицельные расстояния принимались порядка  $d = 0,1 \text{ нм}$ . Волновые свойства  $\alpha$  - частиц ( $W = 7,7 \text{ МэВ}$ ) при этом не учитывались. Допустимо ли это?

22. Определите длину волны де Бройля для атомов водорода, имеющих среднюю арифметическую скорость при температуре  $T = 300^\circ\text{К}$ .

23. Определите длину волны де Бройля для протона, кинетическая энергия которого равна энергии покоя электрона. Изменения массы в зависимости не учитывайте.

24. Определите скорость электрона, длина волны де Бройля для которого такая же, как и для нейтрона, движущегося со скоростью при температуре  $T = 0^\circ\text{С}$ .

25. Определите длину де Бройля для движущегося электрона, если известно, что масса его на 1 % больше массы покоя.

26. Какова должна быть кинетическая энергия протона (в МэВ), чтобы его длина волны де Бройля была бы сравнима с размером нуклона  $d = 10^{-15} \text{ м}$ ? Учтите зависимость массы покоя протона от скорости.

27. Заряженная частица имеет скорость равную 0,8 скорости света и длину волны де Бройля  $\lambda = 10^{-15} \text{ м}$ . Найти её массу покоя. Какая это частица?

28. Радиус орбиты электрона в невозбужденном атоме водорода  $r_1 = 0,053 \text{ нм}$ . Пользуясь представлениями теории Бора, определите длину волны де Бройля, характеризующую движение электрона по первой орбите и его линейную скорость.

29. Пучок электронов падает на естественную грань монокристалла под углом  $\alpha = 30^\circ$  к ее поверхности. Постоянная кристаллической решетки  $d = 0,24 \text{ нм}$ . При какой наименьшей ускоряющей разности потенциалов будет наблюдаться максимальное отражение электронов под углом, равным углу падения? (Изменение массы электронов в зависимости от скорости не учитывайте).

30. На кристалл никеля падает параллельный пучок электронов под углом  $\alpha = 60^\circ$  к поверхности кристалла. Определите скорость падающих электронов, если они испытывают интерференционно отражение первого порядка. Расстояние между атомными плоскостями кристалла  $d = 0,24$  нм (изменение массы электронов в зависимости от скорости не учитывайте).

31. Вычислить длину волны  $\lambda$  де Бройля для тепловых ( $T = 300^\circ\text{K}$ ) нейтронов. Следует ли учитывать волновые свойства нейтронов при анализе их взаимодействия с кристаллом? Расстояние между атомами в кристалле принять равным  $d = 0,5$  нм.

32. Определить кинетическую энергию электрона, молекулы кислорода и частицы, радиус которой  $r = 0,1$  мкм и плотность  $\rho = 2000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , если каждой из этих частиц соответствует длина волны де Бройля  $\lambda = 100$  нм.

33. Какой кинетической энергией обладает протон с длиной волны де Бройля, равной граничной длине волны рентгеновских лучей, возникающих в трубке при разности потенциалов  $U = 40$  кВ?

34. Пучок электронов падает нормально на поверхность монокристалла никеля. В направлении, составляющем угол  $\theta = 55^\circ$  с нормалью к поверхности, наблюдается максимум отражения четвертого порядка при скорости электронов  $v = 8 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$ . Вычислить межплоскостное расстояние, соответствующее данному отражению.

35. Узкий пучок электронов, прошедших ускоряющую разность потенциалов  $U = 10$  кВ, пролетает через тонкую поликристаллическую алюминиевую фольгу и дает на экране дифракционную картину. Отражение третьего порядка кристаллических плоскостей соответствует кольцу радиуса  $r = 1,6$  см. Расстояние от фольги до экрана  $l = 10$  см. Определить постоянную решетки  $d$  алюминия.

36. Узкий пучок нейтронов падает на естественную грань монокристалла алюминия под углом скольжения  $\theta = 5^\circ$ . Расстояние между кристаллическими плоскостями, параллельными данной грани монокристалла  $d = 0,20$  нм. Какова энергия нейтронов, для которых в данном направлении наблюдается максимум первого порядка.

37. На узкую щель шириной,  $a = 1$  мкм направлен параллельный пучок электронов, имеющих скорость  $v = 3,65 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$ . Учитывая волновые свойства электронов, определить расстояние  $x$  между двумя максимумами первого порядка в дифракционной картине, полученной на экране, отстоящем на  $L = 10$  см от щели.

38. Параллельный поток моноэнергетических электронов падает нормально на диафрагму с узкой прямоугольной щелью шириной  $b = 0,10$  мм. Определить скорость этих электронов, если на экране, отстоящем на расстояние  $l = 50$  см, ширина центрального дифракционного максимума  $\Delta x = 8,0$  мм.

39. Параллельный поток электронов, ускоренных разностью потенциалов  $U = 25$  В, падает нормально на диафрагму с двумя узкими щелями, расстояние между которыми  $d = 30$  мкм. Определить расстояние  $x$  между

соседними максимумами дифракционной картины на экране, расположенном на расстоянии  $l = 100\text{см}$  от щелей.

40. Сколько длин волн де Бройля уложится на третьей орбите однократно ионизированного возбужденного атома гелия?

41. Используя соотношение неопределенностей, оценить наименьшие ошибки  $\Delta v$  в определении скорости электрона и протона, если координаты центра масс этих частиц могут быть установлены с неопределенностью  $\Delta x = 1\text{мкм}$ .

42. Определить неопределенность  $\Delta x$  координаты электрона, движущегося в атоме водорода со скоростью  $v = 2,0 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , если неопределенность скорости  $\Delta v = 0,1v$ . Сравнить полученную неопределенность с диаметром  $d$  атома водорода, вычисленному по теории Бора для основного состояния и указать, применимо ли понятие траектории в данном случае.

43. Электрон с кинетической энергией  $W_k = 10\text{эВ}$  находится в металлической пылинке диаметром  $d = 1\text{мкм}$ . Оценить (в процентах) относительную неопределенность скорости электрона.

44. Если допустить, что неопределенность координаты движущейся частицы равна дебройлевской длине волны, то какова будет относительная неопределенность  $\frac{\Delta p_x}{p_x}$  импульса этой частицы?

45. Электрон находится в потенциальном ящике шириной  $l = 0,2\text{нм}$ . Используя соотношение неопределенностей, оценить минимальную кинетическую энергию  $W_{\text{max}}$  которой может обладать электрон в этом ящике.

46. Используя соотношение неопределенностей, оценить низший энергетический уровень электрона в атоме водорода. Принять диаметр атома  $d = 0,1\text{нм}$ .

47. Используя соотношение неопределенностей оценить наименьшие ошибки  $\Delta p$  в определении импульса электрона и протона, если координаты центра масс этих частиц могут быть установлены с неопределенностью  $\Delta x = 0,01\text{мм}$ .

48. Время жизни  $\tau$  возбужденного ядра порядка  $1\text{нс}$ , длина волны  $\lambda$  излучения равна  $0,1\text{нм}$ . С какой наибольшей точностью ( $\Delta E$ ) может быть определена энергия излучения?

49. Атом испустил фотон с длиной волны  $\lambda = 800\text{нм}$ . Продолжительность излучения равна  $\tau = 10\text{нс}$ . Определить наибольшую точность ( $\Delta \lambda$ ), с которой может быть измерена длина волны излучения.

50. Используя соотношение неопределенностей, оценить ширину одномерного потенциального ящика, в котором минимальная энергия электрона  $W_m = 10\text{эВ}$ .

51. Альфа-частица находится в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике. Используя соотношение неопределенностей, оценить ширину  $l$  ящика, если известно, что минимальная энергия  $\alpha$ -частицы  $E_m = 8\text{МэВ}$ .

52. Чему равна наименьшая ширина  $\Delta\lambda$  спектральной линии с длиной волны  $\lambda = 500$  нм, допускаемая принципом неопределенности, если считать, что средняя продолжительность возбужденного состояния атомов  $\tau = 10^{-8}$  с?

53. Молекулы водорода участвуют в тепловом движении при  $T = 300^\circ\text{K}$ . Найти неопределенность  $\Delta x$  координаты молекул водорода.

54. Наименьшая неточность, с которой можно найти координату электрона в атоме водорода  $\Delta x = 10^{-10}$  м. Найти неопределенность  $\Delta W_k$  средней кинетической энергии электрона в невозбужденном атоме водорода.

55. Во сколько раз дебройлевская длина волны  $\lambda$  частицы меньше неопределенности  $\Delta x$  ее координаты, которая соответствует относительной неопределенности импульса?

56. Предполагая, что неопределенность координаты движущейся частицы равна дебройлевской длине волны, определить относительную неточность  $\frac{\Delta p}{p}$  импульса этой частицы.

57. Приняв, что минимальная энергия нуклона в ядре равна  $W = 10$  МэВ, оценить, исходя из соотношения неопределенностей, линейные размеры ядра.

58. Пучок электронов с энергией  $W = 10$  эВ падает на щель шириной  $a$ . Можно считать, что если электрон прошел через щель, то его координата известна с неопределенностью  $\Delta x = a$ . Оценить получаемую при этом относительную неопределенность в определении импульса  $\frac{\Delta p}{p}$  электрона в двух случаях: 1)  $a = 10$  нм; 2)  $a = 0,1$  нм.

59. Используя соотношение неопределенностей оценить ширину  $\Delta W$  энергетического уровня в атоме водорода, находящегося: 1) в основном состоянии; 2) в возбужденном состоянии (время жизни возбужденного состояния  $\Delta t = 10^{-8}$  с).

60. Частица массы  $m$  находится в прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Ширина ямы  $l$ . При каких значениях кинетической энергии  $W_k$  частицы относительная неопределенность энергии  $\frac{\Delta W_k}{W_k}$  будет меньше  $\frac{\Delta W_k}{W_k} = 0,01$  ?

61. Частица массы  $m$  движется в одномерной потенциальном поле  $W_p = \frac{kx^2}{2}$  (гармонический осциллятор). Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимально возможную энергию частицы в таком поле.

62. Параллельный пучок атомов водорода со скоростью  $v = 1,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  падает нормально на диафрагму с узкой щелью, за которой на расстоянии  $l = 1$  м расположен экран. Оценить с помощью соотношения неопределенностей ширину щели "b", при которой ширина изображения ее на экране будет минимальной.

63. Неопределенность скорости электрона составила  $\Delta v = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Определить неопределенность координаты электрона, если он движется со скоростью  $v = 102 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ?

64. Диаметр пузырька в жидко-водородной пузырьковой камере составляет величину порядка  $d = 10^{-7}$  м. Оценить, неопределенность  $\Delta v$  в определении скоростей электрона и  $\alpha$  - частицы в такой камере, если неопределенность в определении координаты принять равной диаметру пузырька.

65. Сравнить неопределенности в определении скорости  $\alpha$  - частицы, если ее координаты установлены с точностью  $\Delta x = 10^{-5}$  м, шарика массой  $m = 0,1$  мг, если координаты его центра масс могут быть установлены с такой же точностью.

66. Ширина следа электрона на фотографии полученной с помощью камеры Вильсона, составляет  $\Delta x = 10^{-3}$  м. Найти неопределенность  $\Delta v$  в определении скорости.

67. Частица находится в бесконечно глубоком, одномерном прямоугольном потенциальном ящике. Найти отношение разности соседних энергетических уровней к энергии  $W$  частицы в трех случаях: 1)  $n = 2$ ; 2)  $n = 5$ ; 3)  $n \rightarrow \infty$ .

68. Частица, в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике находится в основном состоянии. Какова вероятность  $W$  обнаружения частицы в крайней четверти ящика?

69. Электрон находится в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике шириной  $l$ . В каких точках в интервале  $(0 < x < l)$  плотности вероятности нахождения электрона на втором и третьем энергетических уровнях одинаковы? Вычислить плотность вероятности для этих точек. Решение пояснить графиком.

70. Электрон находится в бесконечно глубоком, одномерном, прямоугольном потенциальном ящике шириной  $l = 0,1$  нм. Определить в электрон-вольтах наименьшую разность электрических уровней электрона.

71. Электрон находится в прямоугольном потенциальной ящике с непроницаемыми стенками. Ширина ящика  $l = 0,2$  нм, энергия электрона в ящике  $W = 37,8$  эВ. Определить номер  $n$  энергетического уровня и значение волнового вектора  $k$ .

72. Частица в потенциальном ящике шириной  $l$  находится в возбужденном состоянии ( $n = 3$ ). Определить, в каких точках интервала  $(0 < x < l)$  плотность вероятности нахождения частицы имеет максимальное и минимальное значения.

73. Частица в потенциальном ящике находится в основном состоянии. Какова вероятность обнаружить частицу: 1) в средней трети ящика; 2) в крайней трети ящика.

74. Элементарная частица в потенциальном ящике находится в первом возбужденном состоянии. Какова вероятность нахождения частицы в середине потенциального ящика? Ответ пояснить рисунком.

75. Электрон находится в бесконечно глубоком одномерном прямоугольном потенциальном ящике. Определить энергии электрона на первом, на втором и т.д. энергетических уровнях, если ширина ящика

$l = 0,1 \text{ нм}$  . Построить график зависимости энергии электрона от номера энергетического уровня.

76. Ширина одномерного прямоугольно потенциального ящика

$l = 500 \text{ пм}$  . Определить в электрон-вольтах разность энергии второго и первого, одиннадцатого и десятого энергетических уровней электрона.

77. Электрон находится в потенциальном ящике. Определить плотность вероятности нахождения электрона на втором энергетическом уровне в интервале  $0 < x < \frac{l}{2}$  .

78. В потенциальном ящике шириной  $l$  находится электрон на третьем энергетическом уровне. Определить, в каких точках интервала  $0 < x < l$  плотность вероятности нахождения электрона равна нулю. Определить плотность вероятности нахождения электрона на участке интервала

$$\frac{l}{3} < x < \frac{2l}{3}$$

79. Собственная функция, описывающая состояние частиц в потенциальном ящике, имеет вид:  $\psi(x) = C \sin \frac{\pi n}{l} x$  . Используя условия нормировки, вычислить постоянную  $C$ , если ширина ящика  $l = 0,2 \text{ нм}$ .

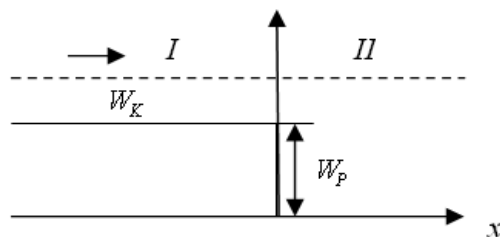
80. Какова ширина одномерной потенциальной ямы с бесконечно высокими стенками, если при переходе электрона со второго энергетического уровня на первый излучается энергия  $\Delta W = 1 \text{ эВ}$ ?

81. Определить, при какой ширине потенциальной ямы дискретность энергии  $\Delta W$  становится сравнимой с энергией теплового движения при температуре  $T$ .

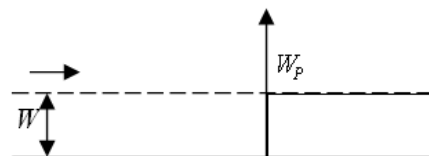
82. Электроны, обладают энергией  $W = 16 \text{ эВ}$  на своем пути встречают прямоугольный потенциальный барьер высотой  $W_p = 4 \text{ эВ}$  . Найти коэффициент отражения  $R$  и коэффициент пропускания  $D$  волн де Бройля для данного барьера.

83. Найти вероятность  $D$  просачивания электрона через потенциальный барьер шириной  $\Delta x = 0,5 \text{ нм}$  и высотой  $W_p = 0,4 \text{ эВ}$ , если он разгоняется электрическим полем с напряжением  $U = 0,3 \text{ В}$ .

84. Определить коэффициент преломления  $n$  волн де Бройля для протонов на границе потенциальной ступени (рис.2). Кинетическая энергия протонов  $W_k = 16 \text{ эВ}$ , а высота потенциалов ступени  $W_p = 9 \text{ эВ}$ .



85. Электрон обладает энергией  $W = 10 \text{ эВ}$  . Определить во сколько раз изменяется его скорость  $v$  и длина волны  $\lambda$  де Бройля при прохождении через потенциальный барьер высотой  $W_p = 6 \text{ эВ}$ . (рис. 3)



86. Протон с энергией  $W = 1\text{МэВ}$  изменил при прохождении потенциального барьера длину волны де Бройля не 1%. Определить высоту  $W_p$  потенциального барьера.

87. На пути электрона с дебройлевской длиной волны  $\lambda_1 = 0,1\text{ нм}$  находится потенциальный барьер высотой  $W_p = 120\text{ эВ}$ . Определить длину волны  $\lambda_2$  Бройля после прохождения барьера.

88. Электрон с энергией  $W = 100\text{ эВ}$  попадает на потенциальный барьер высотой  $W_p = 64\text{ эВ}$ . Определить вероятность  $w$  того, что электрон отразится от барьера.

89. Коэффициент отражения протона от потенциального барьера  $\rho = 2,5 \cdot 10^{-5}$ . Определить, какой процент составляет высота  $W_p$  потенциального барьера от кинетической энергии  $W_k$  падающих на барьер протонов.

90. Определить показатель преломления  $n$  волн де Бройля при прохождении частицей потенциального барьера с коэффициентом отражения  $\rho = 0,5$ .

91. При каком отношении высоты потенциального барьера  $W_p$  и энергии  $W$  электрона, падающего на барьер, коэффициент отражения  $\rho = 0,5$ .

92. Электрон с энергией  $W = 10\text{ эВ}$  падает на потенциальный барьер. Определить высоту  $W_p$  барьера, при которой показатель преломления  $n$  волн де Бройля и коэффициент отражения  $\rho$  численно совпадают.

93. Кинетическая энергия  $W_k$  электрона в два раза превышает высоту потенциального барьера. Определит коэффициент отражения  $\rho$  и коэффициент прохождения  $\tau$  электронов на границе барьера.

94. Коэффициент прохождения  $\tau$  электронов через низкий потенциальный барьер равен коэффициенту отражения  $\rho$ . Определить, во сколько раз кинетическая энергия  $W_k$  электронов больше высоты потенциального барьера  $W_p$ .

95. Коэффициент прохождения протонов через потенциальный барьер  $\tau = 0,8$ . Определить показатель преломления  $n$  волн де Бройля на границе барьера.

96. Вычислить коэффициент прохождения  $\tau$  электрона с энергией  $W = 100\text{ эВ}$  через потенциальный барьер высотой  $W_p = 99,75\text{ эВ}$ .

97. Найти вероятность  $w$  прохождения электрона через прямоугольный барьер при разности энергии  $W_p - W = 1\text{ эВ}$ , если ширина барьера: 1)  $\Delta x = 0,1\text{ нм}$ , 2)  $\Delta x = 0,5\text{ нм}$

98. Электрон проходит через прямоугольный потенциальный барьер шириной  $\Delta x = 0,5\text{ нм}$ . Высота  $W_p$  барьера больше энергии  $W$  электрона на 1%. Вычислить коэффициент прозрачности  $D$  барьера, если энергия электрона 1)  $W = 10\text{ эВ}$ , 2)  $W = 100\text{ эВ}$ .

99. Ширина прямоугольного потенциального барьера равна  $\Delta x = 0,2\text{ нм}$ . Разность энергии  $W_p - W = 1\text{ эВ}$ . Во сколько раз изменится вероятность  $w$  прохождения электрона через барьер, если разность энергии возрастает в  $n = 10$  раз?

100. Электрон с энергией  $W = 9 \text{ эВ}$  движется в положительном направлении оси  $x$ . При какой ширине потенциального барьера  $x$  коэффициент прозрачности  $D = 0,1$ , если высота потенциального барьера  $W_p = 10 \text{ эВ}$  ?

101. Электрон с энергией  $W$  движется в положительном направлении оси  $x$ . При каком значении  $W_p - W$ , выраженном в электрон-вольтах, коэффициент прозрачности  $D = 10^{-3}$ , если ширина потенциального барьера  $\Delta x = 0,1 \text{ нм}$  ?

102. Ядро испускает  $\alpha$  - частицы с энергией  $W = 5 \text{ МэВ}$ . В грубом приближении можно считать, где  $\alpha$  - частицы проходят через прямоугольный потенциальный барьер высотой  $W_p = 10 \text{ МэВ}$  и шириной  $\Delta x = 5 \text{ фм}$ . Найти коэффициент прозрачности  $D$  барьера  $\alpha$  - частиц.

103. Протон и электрон прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов  $U = 10 \text{ кВ}$ . Во сколько раз отличаются коэффициенты прозрачности  $D_e$  для электрона и  $D_p$  для протона, если высота потенциального барьера  $W_p = 20 \text{ кэВ}$  и ширина  $\Delta x = 0,1 \text{ нм}$  ?

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

105. Вычислить по теории Бора радиус  $r_2$  второй стационарной орбиты и скорость  $v_2$  электрона на этой орбите для атома водорода.

106. Вычислить по теории Бора период  $T$  вращения электрона в атоме водорода, находящегося в возбужденном состоянии, определяемым главным квантовым числом  $n = 2$ .

107. Определить максимальную энергию  $W_m$  фотона серии Бальмера в спектре излучения атомарного водорода.

108. Определить первый потенциал  $\phi_1$  возбуждения и энергию ионизации  $W_i$  атома водорода, находящегося в основном состоянии.

109. Определить энергию фотона  $W$ , испускаемого атомом водорода при переходе электрона с третьей орбиты на вторую.

110. Найти наибольшую  $\lambda_{\max}$  и наименьшую  $\lambda_{\min}$  длин волн в ультрафиолетовой серии водорода (серия Лаймана).

111. В однозарядном ионе гелия электрон перешел с третьего энергетического уровня на первый. Определить длину волны  $\lambda$  излучения, испущенного ионом гелия.

112. Электрон в атоме водорода находится на третьем энергетическом уровне. Определить кинетическую  $W_k$ , потенциальную  $W_p$  и полную  $W$  энергию электрона. Ответ выразить в электрон-вольтах.

113. Фотон выбивает из атома водорода, находящегося в основном состоянии, электрон с кинетической энергией  $W = 10 \text{ эВ}$ . Определить энергию  $W$  фотона.

114. Вычислить по теории Бора скорость вращения электрона, находящегося на третьем энергетическом уровне в атоме дейтерия.



115. Фотон с длиной волны  $\lambda=0,015\text{нм}$ , выбил электрон из невозбужденного атома водорода. Вычислить скорость электрона за пределами атома.

116. Вычислить по теории Бора радиус первой боровской орбиты и скорости  $v_i$  электрона на этой орбите для иона  $\text{He}^+$ .

117. Определить первый потенциал  $\phi_1$  возбуждения, энергии ионизации  $W_i$  иона  $\text{He}^+$ , находящегося в основном состоянии.

118. При переходе электрона в атоме водорода из возбужденного состояния в основное, радиус боровской орбиты электрона уменьшился в 26 раз. Определить длину волны излученного фотона.

119. При исследовании характеристического рентгеновского спектра некоторого элемента было найдено, что длина волны, соответствующая  $K_\alpha$   $\lambda=0.075$  нм. Определить порядковый номер элемента в таблице Менделеева. Как называется этот элемент?

120. На сколько изменится орбитальный момент импульса (момент количества движения) при испускании атомом водорода второй по порядку спектральной линии серии Бальмера ?

121. Атом водорода, находясь в основном состоянии, поглотил квант света с энергией  $10,2\text{эВ}$ . Определить насколько изменится при этом орбитальный магнитный момент.

122. При возбуждении атома водорода, находящегося в основном состоянии, его орбитальный магнитный момент увеличился в 3 раза. Определить энергию возбуждения.

123. На каком энергетическом уровне находятся возбужденные атомы водорода, если они испускают только три спектральные линии? Определить энергию возбуждения атомом водорода и наименьшую длину волны в спектре испускания.

124. Какую скорость должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов спектр водорода имел только три спектральные линии?

125. Оцените, во сколько раз увеличивается радиус орбиты электрона в атоме водорода, который находится в основном состоянии, при возбуждении его квантом с энергией  $W=12.68$  эВ?

126. В каком энергетическом состоянии должны находиться атомы водорода, чтобы после дополнительного облучение синим светом  $\lambda=486.1$  нм, спектр испускания водорода состоял из 6 линий?

127. В какое состояние перейдет атом водорода, находящегося в 3 энергетическом состоянии, после поглощения фотона  $\lambda=1093.8$  нм? Какова длина волны фотона, испускаемого атомом водорода при возвращении в нормальное состояние?

128. Определите энергию фотона, поглощаемую атомом водорода, при переходе из 2 в 5 энергетическое состояние и длину волн фотона, испускаемого атомом водорода при возвращении в нормальное состояние. На схеме энергетических уровней атома водорода укажите соответствующие переходы.

129. Квант энергии ( $\lambda=82,8$  нм) выбивает электрон из атома водорода, находящегося в 3 энергетическом состоянии. С какой скоростью будет двигаться этот электрон вдали от ядра?

130. Возбужденный атом водорода при переходе в основное состояние испустил последовательно два кванта с длинами волн  $\lambda_1 = 40,51$  нм и  $\lambda_2 = 93,3$  нм. Определить энергию первоначального состояния данного атома и соответствующее ему квантовое число.

131. Чему равен по теории Бора орбитальный магнитный момент электрона движущегося по n-й орбите атома водорода?

132. Атом водорода поглощает фотон, вследствие чего электрон, находившийся на второй боровской орбите, вылетает из атома со скоростью  $v = 6 \cdot 10^5$  м/с. Определить частоту фотона.

133. Во сколько раз изменяется момент импульса и энергия электрона атома водорода, находящегося в первом возбужденном состоянии при поглощении атомом кванта с импульсом  $P = 6,45 \cdot 10^{-27}$  кг\*м/с. На сколько при этом изменится орбитальный магнитный момент электрона?

134. Вычислить момент импульса  $L$  орбитального движения электрона, находящегося в атоме 1) в S-состоянии; 2) в p-состоянии.

135. Момент импульса орбитального движения электрона в атоме водорода равен  $L = 1,83 \cdot 10^{-32}$  Дж·с. Определить магнитный момент  $P_m$ , обусловленный орбитальным движением электрона.

136. Электрон в атоме находится в f-состоянии. Найти орбитальный момент импульса  $L$  электрона и максимальное значение проекции момента импульса  $L$  на направление внешнего магнитного поля.

137. определить возможное значение магнитного момента  $P_m$ , обусловленного орбитальным движением электрона в возбужденном атоме водорода, если энергия возбуждения равна  $W = 12,09$  эВ.

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

139. Найти число  $N$  электронов в атомах, у которых в основном состоянии заполнены: 1) K-слои, L-слои, 3s – оболочка, и наполовину 3p – оболочка; 2) K- L- и M- слои и 4s -, и 4p- и 4d – оболочки. Что это за атомы?

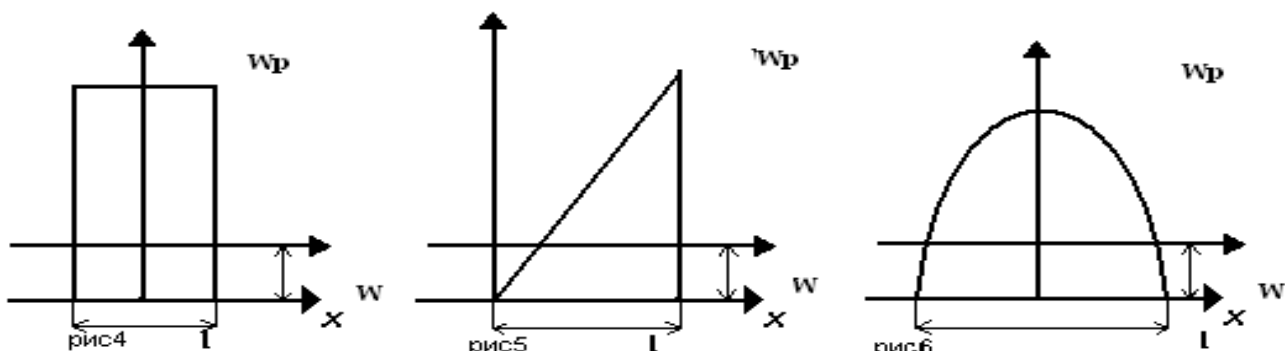
140\*. Свободный электрон первоначально был локализован в область размером  $l = 0,1$  нм. Оценить с помощью соотношения неопределенностей время, за которое ширина соответствующего волнового пакета увеличится в  $\eta = 10$  раз.

141\*. Узкий пучок моноэнергетических электронов падает под углом скольжения  $\theta = 30^\circ$  на естественную грань монокристалла алюминия. Расстояние между соседними кристаллическими плоскостями \* параллельными этой грани монокристалла,  $d = 0,2$  нм. При некотором ускоряющем напряжении  $U_0$  наблюдали максимум зеркального отражения. Найти  $U_0$ , если известно, что следующий максимум зеркального отражения возник при увеличении ускоряющего напряжения в  $n = 2,25$  раза.

142\*. Пучок электронов, ускоренных разностью потенциалов падает на поверхность металла, внутренний потенциал которого  $U_i=15\text{В}$ . Найти: а) показатель преломления металла для электронов с  $U=150\text{В}$ ; б) отношение  $U/U_i$ , при котором показатель преломления отличается от единицы не более, чем на  $\eta=1\%$ .

143\*. Электрон находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Ширина ямы равна  $l$ . Оценить с помощью соотношения неопределенностей сил давления электрона на стенки этой ямы при минимальной возможной его энергии.

144\*. Найти для электрона с энергией  $W$  вероятность  $D$  прохождения потенциального барьера, ширина которого  $l$  и высота  $W_p$ , если барьер имеет форму показанную на рис 4, на рис 5.



145\*. Найти вероятность  $D$  прохождения частицы с массой  $m$  и энергией  $W$  сквозь потенциальный барьер (рис. 6), где  $W_p(x)=W_0(1-(x^2/l^2))$ .

146\*. Какой серии принадлежит спектральная линия атомарного водорода, волновое число которой равно разности волновых чисел следующих двух линий серии Бальмера  $\lambda_1=486.1\text{ нм}$  и  $\lambda_2=410.2\text{ нм}$ ? Какова длина волны  $\lambda_3$  этой линии?

147\*. Найти наибольшую длину волны  $\lambda_{\text{max}}$  той спектральной серии ионов  $\text{He}^+$ , в которой интервал между крайними линиями  $\Delta\omega=5.18\cdot 10^{15}\text{ с}^{-1}$ .

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И. В. Курс физики. М.: КноРус, 2009, т. 1
2. Савельев И. В. Курс физики. М.: КноРус, 2009, т. 2
3. Савельев И. В. Курс физики. М.: КноРус, 2009, т. 3
4. К.П.Абдурахманов, Ў.Эгамов “Физика курси” дарслиги, Тошкент,2010 й.
5. П.А.Типлер, Р.А.Ллуэллин Современная физика (Лучший зарубежный учебник в двух томах) .М.: Мир, 2007, С.496 (1том)
6. П.А.Типлер, Р.А.Ллуэллин Современная физика (Лучший зарубежный учебник в двух томах) .М.: Мир, 2007, С.416 (2том)
7. Трофимова Т.И. Курс физики.М.:Высшая школа, 1999, С.543
8. Трофимова Т.И. Физика в таблицах и формулах. М.: Высшая школа 2002, С.424
9. Абдурахманов К.П., Тигай О.Э., Хамидов В.С. Курс мультимедийных лекций по физике, 2012, С.650

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	<b>3</b>
<b>Тема 9. СОБСТВЕННЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ</b>	<b>5</b>
Таблица вариантов для темы 9	<b>10</b>
<b>Тема 10. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ</b>	<b>29</b>
Таблица вариантов для темы 10	<b>34</b>
<b>Тема 11. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ</b>	<b>50</b>
Таблица вариантов для темы 11	<b>54</b>
<b>Тема 12. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА</b>	<b>66</b>
Таблица вариантов для темы 12	<b>71</b>
<b>Тема 13. КВАНТОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА</b>	<b>89</b>
Таблица вариантов для темы 13	<b>92</b>
<b>Тема 14. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ И ФИЗИКИ АТОМОВ</b>	<b>111</b>
Таблица вариантов для темы 14	<b>117</b>
Список рекомендуемой литературы	<b>130</b>