

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИИ  
ВОЛГОГРАДСКАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра физики

# **ФИЗИКА И БИОФИЗИКА**

Методические указания и контрольные задания  
для студентов-заочников 2 курса  
по специальности 040500 «ФАРМАЦИЯ»

Волгоград-2002

**Автор:** З.А.Филимонова – старший преподаватель кафедры физики Волгоградской медицинской академии

**Научный консультант:** Е.С.Верстаков –заведующий кафедрой физики ВМА, к.ф.-м.н., доцент

**Рецензент:** профессор кафедры общей физики ВГПУ В.С.Харькин

Методические указания и контрольные задания содержат материал по физике и биофизике, составляющий минимум, необходимый выпускникам по специальности 04500-«фармация».

Цель настоящего пособия – оказать помощь студентам-заочникам в изучении физики и биофизики.

Утверждено на ЦМК ВМА  
Председатель ЦМК, профессор

В.Б.Мандриков

Печатается по решению Ученого Совета ВМА

## **Введение.**

Данное методическое пособие предназначено для студентов-заочников по специальности 040500-«Фармация» квалификации «Провизор» Волгоградской медицинской академии и имеет своей целью оказание помощи при самостоятельном изучении курса физики и биофизики.

Физика – наука об общих законах природы. Она является теоретической основой всех естественных наук, современной техники и техники будущего. Методы физических исследований, идеи и положения физики широко используются во всех областях науки и техники. Биофизика – наука о физических и биофизических процессах, лежащих в основе жизни.

Физика и биофизика в фармацевтических вузах (факультетах) является предметом, необходимым для изучения химических и профильных специальных дисциплин. Поэтому студентам-провизорам для успешного усвоения различных курсов учебного плана, для будущей творческой работы необходимо понять и научиться применять физические законы и положения, усвоить методы физических исследований. Решение задач помогает уяснить физический смысл явлений, дает навыки практического применения физических положений и формул.

Основной целью курса физики и биофизики является:

- обучение студентов-провизоров физическим и биофизическим знаниям и умениям, формирующим научное мировоззрение, обеспечивающим исходный уровень для изучения химических и фармацевтических дисциплин, а также необходимым в практической деятельности провизора.

## **Общие методические указания.**

Основной формой обучения студента-заочника является самостоятельная работа над учебным материалом. Для облегчения этой работы кафедра физики ВМА организует чтение лекций, практические занятия и лабораторные работы. Поэтому процесс изучения «Физики и биофизики» состоит из следующих этапов:

- 1) проработка установочных и обзорных лекций;
- 2) самостоятельная работа над учебниками и учебными пособиями;
- 3) выполнение контрольных работ;
- 4) прохождение лабораторного практикума;
- 5) сдача зачета и экзамена.

В процессе изучения курса физики студент обязан выполнить **2** контрольных задания.

**Вариант задач определяется  
последней цифрой зачетной книжки студента.**

<i>Вариант</i>	<i>Номера контрольных заданий</i>										
	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>50</i>	<i>60</i>	<i>70</i>	<i>80</i>	<i>90</i>	<i>100</i>	<i>110</i>
<i>0</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>50</i>	<i>60</i>	<i>70</i>	<i>80</i>	<i>90</i>	<i>100</i>	<i>110</i>
<i>1</i>	<i>11</i>	<i>21</i>	<i>31</i>	<i>41</i>	<i>51</i>	<i>61</i>	<i>71</i>	<i>81</i>	<i>91</i>	<i>101</i>	<i>111</i>
<i>2</i>	<i>12</i>	<i>22</i>	<i>32</i>	<i>42</i>	<i>52</i>	<i>62</i>	<i>72</i>	<i>82</i>	<i>92</i>	<i>102</i>	<i>112</i>
<i>3</i>	<i>13</i>	<i>23</i>	<i>33</i>	<i>43</i>	<i>53</i>	<i>63</i>	<i>73</i>	<i>83</i>	<i>93</i>	<i>103</i>	<i>113</i>
<i>4</i>	<i>14</i>	<i>24</i>	<i>34</i>	<i>44</i>	<i>54</i>	<i>64</i>	<i>74</i>	<i>84</i>	<i>94</i>	<i>104</i>	<i>114</i>
<i>5</i>	<i>15</i>	<i>25</i>	<i>35</i>	<i>45</i>	<i>55</i>	<i>65</i>	<i>75</i>	<i>85</i>	<i>95</i>	<i>105</i>	<i>115</i>
<i>6</i>	<i>16</i>	<i>26</i>	<i>36</i>	<i>46</i>	<i>56</i>	<i>66</i>	<i>76</i>	<i>86</i>	<i>96</i>	<i>106</i>	<i>116</i>
<i>7</i>	<i>17</i>	<i>27</i>	<i>37</i>	<i>47</i>	<i>57</i>	<i>67</i>	<i>77</i>	<i>87</i>	<i>97</i>	<i>107</i>	<i>117</i>
<i>8</i>	<i>18</i>	<i>28</i>	<i>38</i>	<i>48</i>	<i>58</i>	<i>68</i>	<i>78</i>	<i>88</i>	<i>98</i>	<i>108</i>	<i>118</i>
<i>9</i>	<i>19</i>	<i>29</i>	<i>39</i>	<i>49</i>	<i>59</i>	<i>69</i>	<i>79</i>	<i>89</i>	<i>99</i>	<i>109</i>	<i>119</i>

При выполнении контрольного задания студент должен руководствоваться следующим:

1. Каждое задание выполняется в отдельной тетради школьного типа, на лицевой стороне которой приводятся следующие сведения:

**Физика и биофизика  
Контрольное задание №  
Вариант №**

Студент ВМА \_\_\_\_\_  
(фамилия, имя и отчество)

\_\_\_\_\_ (шифр или номер зачетной книжки)

\_\_\_\_\_ (адрес)

2. Перед тем как приступить к выполнению задания полезно посмотреть примеры решения задач, приведенных перед соответствующим контрольным заданием.

3. Задание выполняется чернилами, с оставлением полей для замечаний рецензента. Каждая новая задача должна начинаться с новой страницы.

4. Условие задачи переписывается полностью, без каких-либо сокращений.

5. Чертежи, схемы или рисунки, поясняющие условие задачи или ее решение, должны выполняться аккуратно с применением чертежных принадлежностей.

6. Вычисления при решении задач необходимо выполнять в единицах системы СИ.

7. При решении задач следует давать словесную формулировку применяемых законов и указать на значение буквенных обозначений, приводимых в формулах. Решение сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.

8. Как правило, задачу следует решать в общем виде, подставляя числовые значения лишь в окончательную формулу.

9. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 3520 надо записать  $3,52 \times 10^3$ , вместо 0,00129 записать  $1,29 \times 10^{-3}$  и т.п.

10. Ответ на теоретический вопрос должен быть:

- результатом внимательного прочтения темы по нескольким учебникам;
- кратким конспектом по теме;
- точным;
- четким;
- показывающим его понимание.

Он должен раскрывать не только определение вопроса, но и содержать конкретные примеры применения данного физического явления в биологии, медицине, фармации.

Ответ на теоретический вопрос не должен быть:

- от слова до слова списанным с учебника;
- ограниченным только определением или определениями.

11. Ответ на качественную задачу должен содержать рассуждения, которые подтверждаются физическими закономерностями (т.е. аргументирован).

12. Если контрольное задание рецензентом не зачтено, студент обязан представить его на повторную рецензию, произведя в той же тетради необходимые исправления.

13. Студент должен быть готов дать пояснения по существу решения задач, входящих в его контрольную работу, на экзамене.

***КСЕРОКОПИИ К РЕЦЕНЗИРОВАНИЮ НЕ ПРИНИМАЮТСЯ!***

## Некоторые правила приближенных вычислений.

Приближенные числа могут получиться или в результате счета большого количества предметов или при различных измерениях или в результате вычислений или при округлении чисел. Исходя из этого положения и смысла каждой задачи, решающему самому придется установить, какие данные в условии можно считать точными и какие приближенными.

Задачи с приближенными и смешанными данными нужно решать с соблюдением правил подсчета цифр, причем точные данные не влияют на количество значащих цифр в ответе.

При решении задач некоторые данные, являющиеся, вообще говоря, приближенными, часто приходится считать точными. Это величины наперед заданные, а не полученные в результате измерения или приближенного вычисления. Например, в задаче «Вычислить вес тела объемом  $8 \text{ см}^3$ , если его удельный вес  $2,80 \text{ г/см}^3$ .» Величину объема ( $8 \text{ см}^3$ ) следует считать числом точным. Число  $2,80 \text{ г/см}^3$  следует считать приближенным.

Обратимся теперь к правилам подсчета цифр.

При сложении и вычитании приближенных чисел в полученном результате нужно отбрасывать цифры тех разрядов справа, которых нет хотя бы в одном из данных чисел.

$$\text{ПРИМЕР: } 15,27 + 0,617 + 32,2 \approx 15,3 + 0,6 + 32,2 = 48,1$$

При умножении и делении приближенных чисел в полученном результате нужно сохранить столько значащих цифр, сколько их имеет приближенное данное с наименьшим количеством значащих цифр.

$$\text{ПРИМЕР: } 5,63 \times 0,8 \approx 6 \times 0,8 = 4,8 \approx 5$$

$$3840 : 82 \approx 3800 : 82 \approx 47$$

При возведении приближенного числа в квадрат и куб в результате нужно сохранить столько значащих цифр, сколько их имеет возводимое в степень число:

$$\text{ПРИМЕР: } 328^2 \approx 108000$$

$$3,28^3 \approx 35,3$$

При извлечении квадратного корня из приближенного числа в полученном результате нужно сохранить столько значащих цифр, сколько их имеет подкоренное число:

$$\text{ПРИМЕР: } \sqrt{86} \approx 9,3$$

Нахождение числа из таблиц считается отдельным действием, и если действие промежуточное, то число берется с запасной цифрой.

При пользовании тригонометрическими таблицами нужно придерживаться следующих правил: если значение тригонометрической функции угла известно с двумя значащими цифрами, то величину угла следует округлять до градусов ( $\sin\alpha \approx 0,48$ ;  $\alpha \approx 29^\circ$ ); если значение функции известно с тремя значащими цифрами, то угол следует округлять до десятков минут ( $\operatorname{tg}\alpha \approx 2,40$ ;  $\alpha \approx 67^\circ 20'$ ); если значение функции имеет четыре значащих цифры, то величину угла округляют до одной минуты. По одной значащей цифре функции нельзя найти угол даже с точностью до градуса. Если данные можно брать с произвольной точностью, то для получения окончательного результата с  $n$  значащими цифрами данные следует брать с таким количеством значащих цифр, чтобы предварительный результат имел  $n+1$  цифру.

Последнее правило следует выполнять, в частности, при решении экспериментальных задач и выполнении лабораторных работ.

В заключении сделаем замечание: точность результата нужно устанавливать не только по правилам приближенных вычислений, но и оценкой смысла задачи и данных условия, например:

1. Решение задачи «Какой мощности осветительную лампу нужно ввинтить в патрон, чтобы при напряжении 127 В в лампе сила тока была 0,50 А» приводит к ответу: 64 Вт. Ламп такой мощности наша промышленность не выпускает; ближайший стандарт 60 Вт. Это число и будет правильным ответом.

2. На воздушном шаре нужно поднять груз. Сколько гелия потребуется для этой цели, если груз с шаром весит 1,7 т?

Решение задачи приводит к ответу:  $1529\text{ м}^3$ , если число 1,7 т приближенное, то по правилу округления ответ нужно округлить с недостатком до  $1500\text{ м}^3$ . Однако легко сообразить, что в этом случае шар не поднимется. Поэтому по смыслу задачи ответ следует округлить с избытком. Надежным ответом будет  $1600\text{ м}^3$ . Такое округление противоречит правилу, но соответствует здравому смыслу.

### **Применение микрокалькулятора при решении задач**

Электронно-вычислительное устройство миниатюрных размеров индивидуального пользования типа «Электроника» может быть успешно использовано при решении задач, предлагаемых на контрольных работах. Выполняя вычисления с помощью микрокалькулятора, вы экономите время, освобождая его для теоретических основ курса.

Прежде чем пользоваться микрокалькулятором, внимательно ознакомьтесь с руководством по эксплуатации:

- изучите общие сведения об устройстве;
- ознакомьтесь с правилами подготовки его к работе.

Рассмотрим решение следующих задач с применением микрокалькулятора.

1. Вычислить эффективный диаметр молекул азота, если его критическая температура 126К, критическое давление 3.40 Мпа.

Дано:  $T_{кр}=126\text{К}$ ;  $p_{кр}=3.40 \cdot 10^6 \text{ Па}$ .

Найти:  $d$ .

Решение.

Азот, согласно условию задачи, должен подчиняться уравнению Ван-дер-Ваальса:

$$\left(p + \frac{m}{M^2} \frac{a}{V^2}\right) \left(V - \frac{m}{V} b\right) = \frac{m}{M} RT$$

Постоянную  $b$  в уравнении Ван-дер-Ваальса с достаточной степенью точности считают равной учетверенному собственному объему 1 моль газа. В 1 моль газа находится  $6.02 \cdot 10^{23}$  молекул ( $N_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ ), следовательно, объем одной молекулы равен

$$\frac{\pi d^3}{6} = \frac{b}{4N_A}, \text{ откуда } \frac{\pi d^3}{6} = \frac{b}{4N_A}. \text{ Постоянная } b = \frac{RT_{кр}}{8p_{кр}}. \text{ Тогда}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{3RT_{кр}}{16\pi p_{кр} N_A}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 8.31 \text{ ДжК}^{-1} \text{ моль}^{-1} \cdot 126 \text{ К}}{16 \cdot 3.14 \cdot 3.40 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}}$$

Вычисляем на калькуляторе выражение

$$\sqrt[3]{\frac{3 \cdot 8.31 \cdot 126}{16 \cdot 3.14 \cdot 3.40 \cdot 10^6 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}}$$

$$3 \times 8.31 \div 126 \div 16 \div 3.14 \div 3.40 \text{ ВП } 6 \div 6.02 \text{ ВП } 23 \text{ F } \sqrt[3]{y} 3 =$$

Показания индикатора:  $3.126 \cdot 10^{-10}$ , т.е.  $3.126 \cdot 10^{-10}$ .

Так как данное выражение состоит только из произведения и частного, то, согласно правилам округления, его надо округлить до такого числа значащих цифр, которое имеет наименьшее точное исходное данное.

Ответ:  $3.13 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ .

2. Определить, сколько ядер в 1 г радиоактивного  ${}^{90}_{38}\text{Sr}$  распадается в течение одного года.

Дано:  $m = 10^{-3} \text{ кг}$ ;  $T = 27 \text{ лет}$ ;  $t = 1 \text{ год}$ .

Найти:  $N$ .

Решение.

Для определения числа атомов, содержащихся в 1 г  ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ , используем соотношение

$$N_0 = \nu N_A = \frac{m}{M} N_A$$

где  $N_A$  – постоянная Авогадро;  $\nu$  – число молей, содержащихся в массе данного элемента;  $M$  – молярная масса изотопа. Между молярной массой изотопа и его относительной массой существует соотношение

$$M = 10^{-3} A \text{ кг/моль}$$

Для всякого изотопа относительная атомная масса весьма близка к его массовому числу  $A$ , т.е. для данного случая  $M = 10^{-3} \cdot 90 \text{ кг/моль} = 9 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$ .

Используя закон радиоактивного распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$



где  $N_0$  - начальное число нераспавшихся ядер в момент  $t = 0$ ,  $N$  - число нераспавшихся ядер в момент  $t$ ,  $\lambda$  - постоянная радиоактивного распада, определим количество распавшихся ядер стронция  ${}_{38}^{90}\text{Sr}$  в течение 1 года:

$$N' = N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t}).$$

Учитывая, что постоянная радиоактивного распада связана с периодом полураспада соотношением  $\lambda = \ln 2/T$ , получаем

$$N' = N_0(1 - e^{-\frac{\ln 2}{T}t}) = \frac{m}{10^{-3} A} N_A (1 - e^{-\frac{\ln 2}{T}t}).$$

После подстановки численных значений, имеем

$$N' = \frac{10^{-3} \text{ кг}}{10^{-3} 90 \text{ кг / моль}} \cdot 6.02 \cdot 10^{-23} \text{ моль}^{-1} (1 - e^{-\frac{\ln 2}{27 \text{ лет}} \cdot 1 \text{ год}}).$$

Вычислим на калькуляторе выражение:

$$N' = (1 - e^{-\frac{\ln 2}{27} \cdot 1}) \cdot \frac{10^{-3}}{10^{-3} \cdot 90} \cdot 6.02 \cdot 10^{-23}.$$

По алгоритму:

$$2 \ln \times 1 \div 27 = \text{ /- / } F e^x \quad x \rightarrow \Pi \quad 1 - \Pi \rightarrow x = \times \quad 6.02 \text{ ВП } 23 \times 1 \\ \text{ВП } 3 \text{ /- / } \div 1 \text{ ВП } 3 \text{ /- / } \div 90 =$$

Показания индикатора: 1.69532 20, т.е.  $1.69532 \cdot 10^{20}$ .

Ответ:  $1.70 \cdot 10^{20}$ .

## Примеры решения задач.

**Задача 1.** Объем аргона, находящегося при давлении 80 кПа, увеличился от 1 до 2 л. На сколько изменится внутренняя энергия газа, если расширение производилось: а). Изобарно; б). Адиабатно.

Дано:

$$V_1 = 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$V_2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$p = 8 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$M = 40 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$i = 3$$

Найти:

$$\Delta U - ?$$

Решение:

Применим первый закон термодинамики. Согласно этому закону, количество теплоты  $Q$ , переданное системе, расходуется на увеличение внутренней энергии и на внешнюю механическую работу  $A$ :

$$Q = \Delta U + A. \quad (1)$$

Величину  $\Delta U$  можно определить, зная массу газа  $m$ , удельную теплоемкость при постоянном объеме  $c_V$  и изменение температуры  $\Delta T$ :

$$\Delta U = m \cdot c_V \cdot \Delta T. \quad (2)$$

Однако удобнее изменение внутренней энергии  $\Delta U$  определять через молярную теплоемкость  $C_V$ , которая может быть выражена через число степеней свободы:

$$c_V = \frac{C_V}{M} = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{M}. \quad (3)$$

Подставляя величину из формулы (3) в (2), получаем:

$$\Delta U = \frac{m}{M} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \Delta T. \quad (4)$$

Изменение внутренней энергии зависит от характера процесса, при котором идет расширение газа. При изобарном расширении газа, согласно первому закону термодинамики, часть количества теплоты идет на изменение внутренней энергии  $\Delta U$ , которая выражается формулой (4). Найти  $\Delta U$  для аргона по формуле (4) нельзя, так как масса газа и температура в условии задачи не даны. Поэтому необходимо провести преобразование формулы (4).

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для начального и конечного состояния газа:

$$\begin{aligned} pV_1 &= (m/M)RT_1 & pV_2 &= (m/M)RT_2 \\ \text{или} & & p(V_2 - V_1) &= (m/M)R(T_2 - T_1) \end{aligned} \quad (5)$$

Подставив (5) в формулу (4), получим

$$\Delta U = \frac{i}{2} p(V_2 - V_1) \quad (6)$$

Это уравнение является расчетным для определения  $\Delta U$  при изобарном расширении.

При адиабатном расширении газа теплообмена с внешней средой не происходит, поэтому  $Q = 0$ . Уравнение (1) запишется в виде

$$\Delta U + A = 0 \quad (7)$$

Это соотношение устанавливает, что работа расширения газа может быть произведена только за счет уменьшения внутренней энергии газа (знак минус перед  $\Delta U$ ):

$$A = -\Delta U \quad (8)$$

Формула работы для адиабатного процесса имеет вид

$$A = \frac{m}{M} \cdot \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right] \quad (9)$$

где  $\gamma$  - показатель степени адиабаты, равный отношению теплоемкостей:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}. \text{ Для аргона - одноатомного газа (} i=3 \text{)- имеем } \gamma=1.67.$$

Находим изменение внутренней энергии при адиабатном процессе для аргона, учитывая формулы (8) и (9):

$$\Delta U = \frac{m}{M} \cdot \frac{RT_1}{\gamma-1} \left[ \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} - 1 \right] \quad (10)$$

Для определения работы расширения аргона формулу (10) следует преобразовать, учитывая при этом параметры, данные в условии задачи. Применив уравнение Менделеева-Клапейрона для данного случая  $p_1 V_1 = (m/M)RT_1$ , получим выражение для подсчета изменения внутренней энергии:

$$\Delta U = \frac{p_1 V_1}{\gamma-1} \left[ \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} - 1 \right]. \quad (11)$$

Подставляя числовые значения в (6) и (11) имеем:

а) при изобарном расширении

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot 0.8 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 121 \text{ Дж};$$

б) при адиабатном расширении

$$\Delta U = \frac{0.8 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{(1.67-1)} \left[ \left( \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} \right)^{1.67-1} - 1 \right] = -44.6 \text{ Дж}.$$

**Ответ:** а)  $\Delta U = 121 \text{ Дж}$ ; б)  $\Delta U = -44.6 \text{ Дж}$ .

**Задача 2.** Найти амплитуду  $B$  и начальную фазу  $\varphi_0$  гармонического колебания, полученного от сложения одинакового направленных колебаний, заданных уравнениями:  $x_1 = 2 \sin(5\pi t + \pi/2)$  и

$$x_2 = 2 \sin(5\pi t + \pi/4)$$

Дано:

$$x_1 = 2 \sin(5\pi t + \pi/2)$$

$$x_2 = 2 \sin(5\pi t + \pi/4)$$

Найти:

$B$  - ?  $\varphi_0$  - ?

Решение:

Амплитуды и начальные фазы слагаемых колебаний соответственно равны  $A_1=A_2=A=2\text{м}$ ,  $\varphi_{01}=\pi/2$  и  $\varphi_{02}=\pi/4$  в соответствии с заданными условиями.

Условия задачи соответствуют случаю сложения колебаний одного направления, имеющих одинаковые круговые частоты и амплитуды, но различные фазы. Поэтому начальная фаза результирующего колебания должна отличаться от начальных фаз слагаемых колебаний на половину разности последних, т.е.

$$\varphi_0 = \varphi_{02} + \frac{\varphi_{01} - \varphi_{02}}{2} = \frac{\pi}{4} + \frac{\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4}}{2} = \frac{3\pi}{8} = 67^\circ 30'$$

Применяя формулу сложения синусов, получим для  $B$  результирующего колебания выражение:

$$B = 2A \cdot \cos \frac{\varphi_{01} - \varphi_{02}}{2} = 2 \cdot 2 \cdot \cos \frac{\pi}{8} \approx 3,7(\text{м})$$

Ответ:  $B \approx 3,7$  м;  $\varphi_0 = 67^\circ 30'$

**Задача 3.** Интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор, уменьшилось в 2,3 раза. Во сколько раз она уменьшится, если за первым поставить второй такой же поляризатор так, чтобы угол между их главными плоскостями был равен  $60^\circ$  ?

Дано:

$$I_0/I_1 = 2,3$$

$$\alpha = 60^\circ$$

Найти:

$$I_0/I_2 - ?$$

Решение:

Естественный свет можно представить как наложение двух некогерентных волн, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях и имеющих одинаковую интенсивность.

Идеальный поляризатор пропускает колебания параллельные его главной плоскости, и полностью задерживает колебания, перпендикулярные этой плоскости. На выходе из первого поляризатора получается плоскополяризованный свет, интенсивность которого  $I_1$  с учетом потерь на отражение и поглощение света поляризатором равна

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

где  $I_0$  - интенсивность естественного света;  $k$  - коэффициент, учитывающий потери на отражение и поглощение.

После прохождения второго поляризатора интенсивность света уменьшается как за счет отражения и поглощения света поляризатором, так из-за несовпадения плоскости поляризации света с главной плоскостью поляризатора. В соответствии с законом Малюса, учитывая потери на отражение и поглощение света имеем

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

где  $\alpha$  - угол между плоскостью поляризации света, которая параллельна главной плоскости первого поляризатора и главной плоскости второго поляризатора.

Найдем во сколько раз уменьшилась интенсивность света

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{I_0}{I_1(1 - k)\cos^2 \alpha}. \quad (3)$$

Из (1) имеем

$$(1 - k) = \frac{2I_1}{I_0} \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3) получим

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{1}{2\cos^2 60^\circ} \left( \frac{I_0}{I_1} \right)^2. \quad (5)$$

Проводя вычисления найдем

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{1}{2\cos^2 60^\circ} (2,3)^2 = 10,6.$$

**Ответ:**  $\frac{I_0}{I_2} = 10,6.$

**Задача 4.** Во сколько раз увеличится мощность излучения черного тела, если максимум энергии излучения сместится от красной границы видимого спектра к его фиолетовой границе?

Дано:

$$\lambda_k = 0,76 \text{ мкм}$$

$$\lambda_\phi = 0,38 \text{ мкм}$$

Найти:

$$N_\phi / N_k \text{ -?}$$

Решение:

Длина волны  $\lambda_{\max}$ , на которую приходится максимум энергии излучения черного тела, согласно закону смещения Вина, равна

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (1)$$

где  $T$  - термодинамическая температура тела;  $b$  - постоянная Вина.

Из формулы (1) определяем температуру, при которой максимум энергии излучения приходится на красную  $\lambda_k$  и фиолетовую  $\lambda_\phi$  границы видимого спектра:

$$T_k = \frac{b}{\lambda_k}, \quad T_\phi = \frac{b}{\lambda_\phi}. \quad (2)$$

Мощность излучения равна

$$N = RS, \quad (3)$$

где  $R$  - энергетическая светимость тела;  $S$  - площадь его поверхности.

В соответствии с законом Стефана-Больцмана

$$R = \sigma T^4, \quad (4)$$

где  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана.

Для температур  $T_k$  и  $T_\phi$  имеем

$$N_k = \sigma T_k^4 S \quad \text{и} \quad N_\phi = \sigma T_\phi^4 S. \quad (5)$$

Из формулы (5) находим

$$\frac{N_\phi}{N_k} = \left( \frac{T_\phi}{T_k} \right)^4, \quad (6)$$

или, учитывая (2), имеем

$$\frac{N_\phi}{N_k} = \left( \frac{\lambda_k}{\lambda_\phi} \right)^4. \quad (7)$$

Подставляя в (7) числовые значения, получим

$$\frac{N_\phi}{N_k} = \left( \frac{0,76 \text{ мкм}}{0,38 \text{ мкм}} \right)^4 = 16.$$

**Ответ:**  $N_\phi / N_k = 16$ .

**Задача 5.** Масса движущегося электрона в три раза больше его массы покоя. Чему равна минимальная неопределенность координаты электрона?

Дано:

$$m = 3m_0$$

$$m_0 = 0,91 \cdot 10^{-30} \text{ кг}$$

Найти:

$$\Delta x_{\min} - ?$$

Решение:

Согласно соотношению неопределенности Гейзенберга

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi}, \quad (1)$$

где  $\Delta x$  и  $\Delta p_x$  - неопределенности координаты и импульса частицы,  $h$  - постоянная Планка.

Учитывая, что

$$p = m v, \quad (2)$$

где  $m$  - масса,  $v$  - скорость частицы, соотношение (1) можно представить в виде

$$\Delta x \geq \frac{h}{2\pi m \Delta v_x}. \quad (3)$$

Поскольку неопределенность скорости  $\Delta v_x$ , как и сама скорость, не может превышать скорость света в вакууме, то

$$\Delta x_{\min} = \frac{h}{2\pi m c}. \quad (4)$$

Согласно условию

$$m = 3m_0. \quad (5)$$

Подставляя в (4) условие (5), получим

$$\Delta x_{\min} = \frac{h}{6\pi m_0 c}. \quad (6)$$

Проводя вычисления найдем

$$\Delta x_{\min} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{6 \cdot 3,14 \cdot 0,91 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 1,28 \cdot 10^{-13} \text{ м}.$$

**Ответ:**  $\Delta x_{\min} = 1,28 \cdot 10^{-13} \text{ м}$

## КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ №1

### КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ:

1. Куда будет перемещаться вода в горизонтальном капилляре при его нагреве с одной стороны? Почему?

2. Почему для быстрого введения большого количества жидкости внутривенно не пользуются иглой для подкожных инъекций?

3. Будет ли кипеть вода в пробирке, опущенной в колбу с кипящей водой («водяная баня»)? Почему?

4. Почему в горных районах, расположенных на высотах более 3500м над уровнем моря, даже у здоровых людей появляется одышка, головокружение, сердцебиение?

5. Почему в медицинских термометрах используется ртуть, а не спирт или вода?

6. Почему, если подышать себе на руку, получается ощущение тепла, а если подуть – ощущение холода?

7. Положите на поверхность воды спичку и коснитесь воды кусочком мыла по одну сторону вблизи спички. Объясните наблюдаемое явление.

8. Почему при ультразвуковых исследованиях и ультразвуковой терапии необходимо избегать воздушной прослойки между излучателем ультразвука и облучаемыми участками тела?

9. Почему повреждения крупных вен считаются более опасными, чем повреждения крупных артерий (при условии своевременной помощи по остановке кровотечения)?

10. В сосуде, наполненном до краев водой, плавает кусок льда. Выльется ли вода из сосуда, когда растает лед?

РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАЧИ:

11. Цена деления шкалы прибора -  $1^\circ$ , а нониус его имеет 10 делений. Чему равен угол, если ноль нониуса находится между 23 и 24 делениями основной шкалы и 3-е деление нониуса совпало с делением основной шкалы?

12. Чему равна длина отрезка, если второй конец его оказался между 7 и 8 делениями основной шкалы измерительного прибора, причем 2-е деление шкалы нониуса совпало с некоторым делением основной шкалы? Цена деления основной шкалы 5 мм, нониус имеет 10 делений.

13. Определите цену деления шкалы прибора, показанной на рисунке.

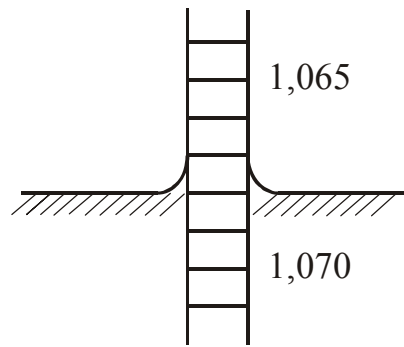


14. Определите цену деления шкалы прибора, показанной на рисунке.

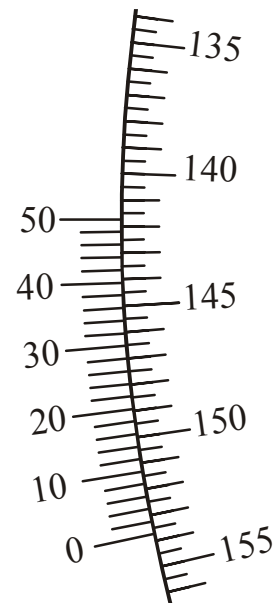




15. Определить плотность жидкости по шкале ареометра, указанной на рисунке.



16. Определите угол вращения плоскости поляризации по шкале поляриметра, показанной на рисунке.



17. Цена деления шкалы прибора -  $1^\circ$ , а нониус его имеет 10 делений. Чему равен угол, если ноль нониуса находится между 23 и 24 делениями основной шкалы и 3-е деление нониуса совпало с делением основной шкалы?

18. Чему равна длина отрезка, если второй конец его оказался между 7 и 8 делениями основной шкалы измерительного прибора, причем 2-е деление шкалы нониуса совпало с некоторым делением основной шкалы? Цена деления основной шкалы 5 мм, нониус имеет 10 делений.

19. Определите цену деления шкалы прибора, показанной на рисунке.



20. Определите цену деления шкалы прибора, показанной на рисунке.



21. Газ изотермически сжат от первоначального объема  $0,15 \text{ м}^3$  до объема  $0,10 \text{ м}^3$ . Давление его повысилось при этом на  $1,96 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$ . Каково первоначальное давление газа?

22. Начертите изотерму  $0,5 \text{ г}$  водорода при температуре  $100^\circ\text{С}$ .

23. Определите плотность закиси азота в баллоне при температуре  $20^\circ\text{С}$  и давлении  $29,4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

24. Медицинский кислород в баллоне находится под давлением  $14,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$  при температуре  $20^\circ\text{С}$ . Спустя сутки давление в нем стало равным  $13,92 \cdot 10^6 \text{ Па}$ , а температура в помещении  $4,5^\circ\text{С}$ . Использовался ли данный баллон для заполнения кислородных подушек?

25. Рабочее давление в баллоне, заполненном медицинским кислородом при  $20^\circ\text{С}$ , равно  $14,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Каким будет давление, если из баллона выпустить  $1/3$  массы газа при неизменной температуре?

26. В баллоне объемом  $25 \text{ л}$  находится водород при температуре  $290\text{К}$ . После того как часть водорода израсходовали, давление в баллоне понизилось на  $0,4 \text{ Мпа}$ . Определить массу израсходованного водорода.

27. Давление в кислородном баллоне емкостью  $40,1 \text{ л}$  равно  $14,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Давление, при котором необходимо отправлять баллон на перезарядку, составляет  $9,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Определить, какое количество подушек для кислорода емкостью  $75 \text{ л}$  можно наполнить из баллона. Давление в подушке считать равным  $14,7 \cdot 10^4 \text{ Па}$ . Изменением температуры кислорода при наполнении подушки пренебречь.

28. Определить массу кислорода, вдыхаемого при каждом вдохе альпинистом, находящимся на высоте, где давление воздуха  $533,2 \cdot 10^2 \text{ Па}$ , а температура  $-16^\circ\text{С}$ . Считать глубину вдоха человека  $1,5 \text{ л}$ , а содержание кислорода в воздухе  $20\%$ .

29. Начертите изотерму  $2 \text{ г}$  азота при температуре  $300 \text{ К}$ .

30. Плотность воздуха при нормальных условиях  $1,29 \text{ кг/м}^3$ . Какова должна быть температура, чтобы воздух имел ту же плотность при давлении  $986,4 \cdot 10^2 \text{ Па}$ ?

31. Вычислить удельные теплоемкости  $c_p$  и  $c_V$  кислорода и закиси азота, считая эти газы идеальными.

32. Один *кмоль* газа изобарно нагревается от  $20^\circ\text{С}$  до  $600^\circ\text{С}$ ; при этом газ поглощает  $1,2 \cdot 10^7 \text{ Дж}$  тепла. Найти: число степеней свободы молекул газа  $i$ ; приращение внутренней энергии газа  $\Delta U$ ; работу газа  $A$ .

33. Какую работу совершат пары закиси азота, расширяясь при постоянном давлении, если сообщаемая им энергия составит  $600 \text{ Дж}$ ?

34. В камере испарителя находится  $750 \text{ см}^3$  хлороформа ( $\text{CHCl}_3$ ) в газообразном состоянии при температуре  $20^\circ\text{C}$  и давлении  $14.7 \cdot 10^4 \text{ Па}$ . Определить работу, совершенную газом, если он изотермически расширился до объема  $1125 \text{ см}^3$ .

35. Вследствие охлаждения кислорода давление в баллоне снизилось с  $11.76 \cdot 10^5$  до  $10.78 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Считая газ идеальным, определить, какое количество теплоты он отдал, если в баллоне находилось  $625 \text{ г}$  кислорода с начальной температурой  $27^\circ\text{C}$ .

36. В барокамере для создания нужного давления использовали газовый баллон объемом  $20 \text{ л}$ . При выходе всего газа из баллона была совершена работа  $350 \text{ Дж}$ . Каков объем барокамеры, если температура оставалась постоянной и равной  $22^\circ\text{C}$ ?

37. Рассчитайте изменение внутренней энергии в результате испарения воды при кипячении инструментов в стерилизаторе, если давление при этом было постоянным и равным  $10^5 \text{ Па}$ , а испарилось  $18 \text{ г}$  воды.

38. В кислородной подушке содержится  $2$  моль кислорода под давлением  $300 \text{ кПа}$ . При открывании клапана газ расширяется, при этом его температура падает от  $325$  до  $275 \text{ К}$ . Рассчитайте совершаемую газом работу, если внешнее давление  $100 \text{ кПа}$ .

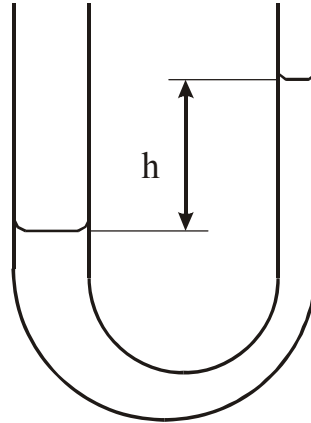
39.  $2$  моль кислорода расширяются от начального давления  $400 \text{ кПа}$  против постоянного внешнего давления  $100 \text{ кПа}$ . Газ находится при температуре  $22^\circ\text{C}$ . Найдите конечный объем кислорода.

40. Азот нагревался при постоянном давлении, причем ему было сообщено количество теплоты равное  $21 \text{ кДж}$ . Определить работу, которую совершил газ, и изменение его внутренней энергии.

41. С какой высоты упала большая капля воды массой  $2 \text{ г}$ , если она разбилась на мелкие капли радиусом  $10^{-5} \text{ см}$ ?

42. Из капельницы заставили вытекать каплями равные массы воды (сначала холодной при температуре  $10^\circ\text{C}$ , затем горячей – при  $63^\circ\text{C}$ ). Во сколько раз изменится коэффициент поверхностного натяжения воды, если в первом случае было  $30$  капель, а во втором –  $34$ ? Плотность воды считать неизменной, т.е. пренебречь тепловым расширением воды.

43. Внутренние диаметры двух сообщающихся стеклянных капилляров (см. рис) 0,5 и 3 мм. Чему равна разность уровней  $h$  спирта в этих капиллярах?



44. В двух капиллярных трубках разного диаметра, опущенных в воду, установилась разность уровней 2.6 см. При опускании этих же трубок в спирт разность уровней оказалась 1 см. Зная, что для воды  $\sigma = 73$  мН/м, найти коэффициент поверхностного натяжения спирта. Плотность воды –  $1000 \text{ кг/м}^3$ , спирта –  $790 \text{ кг/м}^3$ .

45. Найти массу воды, поднявшейся по капиллярной трубке диаметром 0.5 мм. Плотность воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ ,  $\sigma = 73$  мН/м.

46. Для определения коэффициента поверхностного натяжения воды была использована пипетка с диаметром выходного отверстия 2 мм. Масса 40 капель оказалась равной 1.9 г. Найти  $\sigma$ .

47. Разность уровней ( $\sigma = 500$  мН/м) ртути в сообщающихся стеклянном капилляре и широком сосуде равна 7.4 мм. Определите радиус кривизны мениска ртути.

48. В горизонтально расположенный капилляр набирается 0.25 мл крови так, что образуется столбик длиной 10 см. Вытечет ли кровь из капилляра, если его поставить вертикально?

49. В кровеносном сосуде образовался пузырек воздуха. В результате течения крови пузырек воздуха деформировался, образовав поверхности с радиусами кривизны 0.1 и 0.5 мм. Определить дополнительное давление в сосуде, возникающее в результате деформации пузырька воздуха. Для крови  $\sigma = 58$  мН/м,  $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$ .

50. Из трубки диаметром 1.6 мм капает этиловый спирт ( $\sigma = 22.3$  мН/м,  $\rho = 720 \text{ кг/м}^3$ ). Сколько капель приходится на 1 г спирта? Диаметр шейки капли в момент отрыва считать равным диаметру трубки.

51. Шарик радиусом 3 мм движется в вертикальной трубке, заполненной глицерином. Определить силу сопротивления глицерина, если время падения шарика в трубке длиной 80 см равно 10 с. Плотность и вязкость глицерина соответственно равны  $1260 \text{ кг/м}^3$  и  $1.48 \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

52. Подача воды в теплице производится с помощью горизонтальной трубы длиной 20 м и диаметром 6 см, один конец которой вварен в нижнюю часть боковой поверхности бака радиусом 2 м и высотой 5 м. Найти скорость понижения воды для случая его полного заполнения. Плотность и вязкость воды соответственно равны  $1000 \text{ кг/м}^3$  и  $1 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ .

53. У человека в покое величина кровотока на 100 г мышц руки в среднем 2.5 мл в минуту. Определить количество капилляров в тканях мышц, считая, что длина каждого из них составляет 0.3 мм, а диаметр 10 мкм. Разность давлений на концах капилляров принять равной  $33.3 \cdot 10^2 \text{ Па}$ .

54. Определить скорость оседания эритроцитов в плазме крови (в мм/ч) исходя из предположения, что они имеют форму шариков диаметром 7 мкм и не склеиваются между собой. Плотность эритроцитов  $1090 \text{ кг/м}^3$ , плотность крови  $1050 \text{ кг/м}^3$ , вязкость крови  $5 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ .

55. Через иглу, надетую на трубку длиной 20 см, выливается кровь из ампулы диаметром 75 мм. Определить, через какое время из ампулы выльется 250 мл крови, если диаметр иглы 1 мм, а длина 4 см. Ампула содержит 500 мл крови. Трубка и ампула расположены вертикально. Плотность крови  $1050 \text{ кг/м}^3$ , вязкость крови  $5 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ .

56. Диаметр поршня шприца 20 мм, площадь отверстия иглы  $0.5 \text{ мм}^2$ . Сколько времени будет вытекать из горизонтально расположенного шприца раствор новокаина вязкостью  $1.24 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ , если действовать на поршень силой 4 Н? Ход поршня 4 см, длина иглы 4 см.

57. Определить, сколько процентов от суточного расхода энергии человека (11500 кДж) затрачивается сердцем на перемещение крови при частоте пульса 70 уд/мин, учитывая, что среднее давление в левом желудочке равно 12 кПа, а в правом в шесть раз меньше. Количество крови, выбрасываемое каждым желудочком, считать равным 60 мл, а скорость кровотока в обоих случаях  $0.4 \text{ м/с}$ .

58. Определите максимальное количество крови, которое может пройти через аорту в 1 с, чтобы течение сохранялось ламинарным. Диаметр аорты 2 см, вязкость крови  $5 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ .

59. Определить работу сердца человека в покое при одном сокращении и его мощность, если среднее давление, при котором кровь выбрасывается в аорту левым желудочком, равно  $133.3 \cdot 10^2 \text{ Па}$ , ударный объем 60 мл, скорость крови в аорте  $0.5 \text{ м/с}$ . Работа правого желудочка составляет примерно 0.2 работы левого желудочка, а время их сокращения 0.3 с. Плотность крови  $1050 \text{ кг/м}^3$ , вязкость крови  $5 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ .

60. Определить линейную скорость кровотока в аорте радиусом 1.5 см, если при длительности систолы 0.25 с через аорту протекает 60 мл крови. Во сколько раз эта скорость меньше критической? Плотность крови  $1050 \text{ кг/м}^3$ , вязкость крови  $5 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ .

61. Колебательное движение материальной точки задано уравнением:

$$x = 2\sin\frac{\pi}{2}\left(t + \frac{1}{2}\right).$$

Найти зависимость кинетической и потенциальной энергии от времени. Определить амплитуду, период, начальную фазу, максимальную скорость и максимальное ускорение материальной точки.

62. Два одинаково направленных колебания заданы уравнениями:

$$x_1 = 3\cos 5(t+0.04\pi) \quad x_2 = 5\cos 5(t+0.14\pi)$$

Запишите уравнение результирующего колебания.

63. Материальная точка массой 5 г колеблется согласно уравнению  $x=10\cos(2t+\varphi_0)$ . Найдите максимальную силу, действующую на точку, и полную энергию.

64. Логарифмический декремент затухания камертона, колеблющегося с частотой 100 Гц, равен 0.002. Через какой промежуток времени амплитуда колебаний камертона уменьшится в 100 раз?

65. Определите частоту собственных колебаний системы, если при уменьшении коэффициента затухания в 2 раза резонансная частота изменяется от  $3.88 \text{ с}^{-1}$  до  $3.97 \text{ с}^{-1}$ .

66. Груз массой 2.5 кг, подвешенный к пружине с жесткостью  $3.6 \cdot 10^2$  Н/м, совершает вынужденные колебания под действием внешней силы  $F=13.5\sin 6t$ . Найдите амплитуду вынужденных колебаний груза. Трением пренебречь.

67. Определите резонансную частоту ноги человека при маховых движениях, рассматривая ее как физический маятник с приведенной длиной 38.8 см.

68. Насос для перекачки крови в аппарате «искусственное сердце» имеет диафрагму массой 10 г, совершающую затухающие колебания, описываемые уравнением  $x = 0.4e^{-t} \sin 4\pi t$  (см). Под действием внешней периодической силы ее колебания стали описываться уравнением  $x = \sin(2\pi t + \varphi)$  (см). Записать уравнение внешней периодической силы. Какова разность фаз между действующей силой и смещением?

69. Определить коэффициент затухания колебаний аналитических весов, если известно, что за 5с величина амплитуды уменьшилась в 10 раз.

70. Частота свободных колебаний тела массой 2 г равна 100 Гц. Определить коэффициент затухания, если запас энергии в течение 30с уменьшился на 20%. Чему равен коэффициент сопротивления среды и логарифмический декремент затухания?

71. Плоская звуковая волна распространяется в воде. Записать уравнение волны смещения и давления, если максимальное смещение частиц среды равно  $5 \cdot 10^{-4}$  м и их амплитудное значение скорости 150 м/с при температуре  $20^\circ \text{ С}$ .

72. Автомобильная сирена издает звук частотой 800 Гц. Какой частоте колебаний будет соответствовать звук сирены для неподвижного наблюдателя при приближающемся и удаляющемся автомобиле, если скорость его 90 км/ч?

73. Определить скорость движения передней стенки желудочка сердца в сторону груди, если при эхолокации ультразвуком частотой 800 кГц отраженный сигнал воспринимался на частоте 800.21 кГц. Скорость ультразвука в тканях принять равной 1540 м/с.

74. Определить интенсивность сердечных тонов у входа в воронку стетоскопа диаметром 6 см, если на барабанную перепонку площадью 70 мм<sup>2</sup> попадает 74% звуковой энергии при интенсивности  $10^{-15}$  Вт/см<sup>2</sup>.

75. Определить величину смещения барабанной перепонки уха человека на пороге слышимости для звука частотой 1 кГц, если максимальные скорости смещения перепонки и частиц воздуха одинаковы и равны  $5 \cdot 10^{-6}$  см/с. Сравнить величину смещения барабанной перепонки с размерами атома.

76. Определить амплитудное значение давления в ткани организма на глубине 2 см при облучении ее интенсивностью 2 Вт/см<sup>2</sup>. Коэффициент поглощения ткани считать равным  $0.19 \text{ см}^{-1}$ , а ее плотность  $1.06 \text{ г/см}^3$ .

77. Источник звука совершает колебания по закону  $x = \sin 2000\pi t$ . Скорость распространения звука 340 м/с. Запишите уравнение колебаний для точки на расстоянии  $y = 102 \text{ м}$  от источника. Потерями энергии пренебречь, волну считать плоской.

78. Точка, находящаяся на расстоянии  $y = 0.5 \text{ м}$  от источника колебаний, имеет в момент  $t = T/3$  смещение, равное половине амплитуды. Найдите длину волны, если при  $t = 0$  смещение источника равно нулю.

79. Разность хода звуковых волн, приходящими в левое и правое ухо человека, составляет 1 см. Определить сдвиг фаз между обоими звуковыми ощущениями для тона с частотой 1000 Гц. Скорость звука в воздухе 340 м/с.

80. Определите разность фаз в пульсовой волне между двумя точками артерии, расположенными на расстоянии  $\Delta y = 20 \text{ см}$  друг от друга. Скорость пульсовой волны считать равной 10 м/с, а колебания сердца – гармоническими с частотой 1.2 Гц.

81. Уровень громкости звука частотой 200 Гц повысился с 20 до 50 фон. Во сколько раз увеличилась интенсивность звука? Для решения воспользуйтесь кривыми равной громкости.

82. Определить уровни громкости звуков, имеющих уровень интенсивности 60 дБ, если их частоты 50, 100, 800, 7000 Гц. Для решения воспользуйтесь кривыми равной громкости.

83. Сложный звук состоит из основного тона с частотой 200 Гц и двух обертонов с частотами 700 и 5000 Гц. Интенсивность основного тона  $10^{-12}$  Вт/см<sup>2</sup>, а интенсивности основного тона и обертонов относятся как 10:1:1. Определить уровни громкости тонов сердца. Для решения воспользуйтесь кривыми равной громкости.

84. Одинаково ли громко воспринимаются ухом тон частотой 1000 Гц и интенсивностью  $10^{-10}$  Вт/м<sup>2</sup> и тон частотой 200 Гц и интенсивностью  $10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>? Для решения воспользуйтесь кривыми равной громкости.

85. Интенсивность звука частотой 200 Гц после прохождения через стенку уменьшилась с  $10^{-10}$  до  $10^{-12}$  Вт/см<sup>2</sup>. На сколько при этом уменьшился уровень громкости? Для решения воспользуйтесь кривыми равной громкости.

86. Максимальный уровень интенсивности репродуктора равен 80 дБ. Определить максимальный уровень интенсивности при одновременной работе двух, трех репродукторов.

87. Шум на улице, которому соответствует уровень интенсивности звука  $L_1=50$  дБ, слышен в комнате так, как шум  $L_2=30$  дБ. Найдите отношение интенсивностей звука на улице и в комнате.

88. Звук частотой 200 Гц проходит некоторое расстояние в поглощающей среде. Интенсивность при этом уменьшилась с  $10^{-4}$  до  $10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>. На сколько при этом уменьшился уровень громкости? Для решения воспользуйтесь кривыми равной громкости.

89. Разрыв барабанной перепонки наступает при уровне интенсивности звука  $L_0=150$  дБ. Определить интенсивность, амплитудное значение звукового давления и амплитуду смещения частиц в волне для звука частотой 1 кГц, при которых может наступить разрыв барабанной перепонки.

90. Два звука одинаковой частоты отличаются по интенсивности на  $\Delta L=30$  дБ. Найти отношение амплитуд звукового давления.

91. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью  $2 \times 10^{-4}$  Гн и переменного конденсатора, емкость которого может меняться от  $50 \times 10^{-12}$  Ф до  $450 \times 10^{-12}$  Ф. На какие длины волн рассчитан контур?

92. Электромагнитная волна с частотой 3 МГц переходит из вакуума в немагнитную среду с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=4$ . Найти приращение ее длины волны.

93. На сколько процентов отличается частота свободных колебаний контура с добротностью равной 5 от собственной частоты колебаний этого контура?

94. На расстоянии 300 м от Останкинской телевизионной башни плотность потока излучения максимальна и равна  $40$  мВт/м<sup>2</sup>. Какова



плотность потока излучения на расстоянии уверенного приема, равном 120 км?

95. Колебательный контур имеет емкость 10 мкФ, индуктивность 25 мГн и активное сопротивление 1 Ом. Через сколько колебаний амплитуда тока в этом контуре уменьшится в  $e$  раз?

96. Плотность энергии электромагнитной волны равна  $4 \cdot 10^{-11}$  Дж/м<sup>3</sup>. Найти плотность потока излучения.

97. Найти время, за которое амплитуда колебаний тока в контуре с добротностью равной 5000 уменьшится в 2 раза, если частота колебаний равна 2.2 МГц.

98. Максимальная напряженность электрического поля электромагнитной волны по санитарным нормам не должна превышать 5 В/м. Найти допустимую плотность потока электромагнитного излучения.

99. Колебательный контур состоит из конденсатора емкости 4 мкФ и катушки с индуктивностью 2 мГн и активным сопротивлением 10 Ом. Найти отношение энергии магнитного поля катушки и энергии электрического поля конденсатора в момент максимума тока.

100. Мощность импульса радиолокационной станции 100 кВт. Найти максимальную напряженность электрического поля волны в точке, где площадь поперечного сечения конуса излучения равна 2.3 км<sup>2</sup>.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ:

101. Реальные газы. Взаимодействие между молекулами газа. Внутренняя энергия реального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Сравнение опытных и теоретических изотерм реального газа. Критическое состояние вещества. Сжижение газов.

102. Первое начало термодинамики. Применение первого начала к процессам в идеальном газе. Теплоемкости. Уравнение Майера. Распределение энергии по степеням свободы. Связь молярных теплоемкостей с количеством степеней свободы. Дискретность тепловой энергии. Внутренняя энергия идеального газа и идеального кристалла.

103. Классификация лекарственных веществ по агрегатному состоянию. Отличия молекулярной структуры газов, жидкостей и твердых тел. Ближний и дальний порядок. Поверхностное натяжение. Капиллярные явления. Поверхностно-активные вещества.

104. Вязкость жидкости. Уравнение Ньютона. Реологические свойства биологических жидкостей. Законы гидродинамики, применяемые для объяснения процессов в сердечно-сосудистой системе (уравнение неразрывности струи, уравнение и закон Бернулли, закон Стокса, формула Пуазейля). Виды течения жидкостей. Число Рейнольдса.

105. Затухающие колебания. Дифференциальное уравнение, его решение. Зависимости смещения и амплитуды от времени. Логарифмический декремент затухания.

106. Механические волны. Уравнение и график бегущей волны. Поток энергии и интенсивность волны. Вектор Умова. Эффект Доплера.

107. Звук. Физические характеристики звуковой волны, их связь с физиологическими характеристиками звуковых ощущений. Закон Вебера-Фехнера. Область слышимости. Кривые равной громкости.

108. Ультразвук. Источники ультразвуковых волн. Особенности взаимодействия ультразвука с веществом. Особенности распространения ультразвука в веществе. Использование ультразвука в медицине и фармации.

109. Электромагнитные колебания. Дифференциальные уравнения колебаний в идеальном и реальном колебательных контурах. Их решение. Добротность контура.

110. Электромагнитные поля и волны. Основные положения теории Максвелла. Электромагнитное поле. Уравнение и график электромагнитной волны. Плотность потока энергии (интенсивность) электромагнитной волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Шкала электромагнитных волн.

## КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2

### КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ:

1. Чем объяснить, что при искусственном расширении зрачка с помощью лекарства глаз начинает хуже различать предметы?

2. Почему при исследовании некоторых биологических структур в поляризованном свете наблюдается чередование светлых и темных участков?

3. Почему для прогрева используется синяя лампа (а не красная, например)?

4. Капнув несколько капель молока в стакан с водой, посмотрите сквозь него на светящуюся лампочку. Лампочка покажется красновато-желтой. Если же посмотреть на отраженный от стакана свет, он будет голубоватым. Объясните наблюдаемое различие цветов.

5. Чем более высокое напряжение прикладывается к рентгеновской трубке, тем более жесткие лучи испускает она. Почему?
6. Почему при уменьшении напряжения на лампе накаливания свечение приобретает красноватый оттенок?
7. Почему при глубинных облучениях организма на пути рентгеновских лучей ставят фильтры?
8. Облучение организма человека нейтронами является более опасным, чем облучение другими видами излучений. Почему?
9. Может ли излучение любого спектрального состава возбудить фотолюминесценцию данного вещества?
10. Почему молекулы воды легко проникают через билипидный слой мембран?

РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАЧИ:

11. При каком минимальном числе штрихов дифракционной решетки с периодом 2.5 мкм можно разрешить компоненты дублета желтой линии натрия (589 и 589.5 нм)?
12. Найти наибольший порядок спектра для желтой линии натрия с длиной волны 589 нм, если постоянная решетки равна  $2 \cdot 10^{-5}$  м.
13. Постоянная дифракционной решетки 0.02 мм, ширина решетки 1 см. Можно ли, пользуясь этой решеткой, увидеть раздельно в спектре первого порядка дублет желтой линии ртути (576.96 и 579.06 нм)?
14. Длины волн дублета желтой линии в спектре натрия равны 588.995 и 589.592 нм. Какую ширину должна иметь решетка, содержащая 600 штрихов на 1 мм, чтобы различить эти линии в спектре первого порядка?
15. Дифракционная решетка с постоянной 2 мкм имеет 1000 штрихов. Определить наибольшую разрешающую способность решетки для линии натрия с длиной волны 589.06 нм.
16. Дифракционная решетка имеющая 500 штрихов на 1 мм, освещена фиолетовым светом, длиной волны 400 нм, падающим нормально к ее поверхности. Определить угловое расстояние между максимумами первого порядка.
17. На кристалл направлен пучок рентгеновских лучей с диапазоном длин волн 0.090 до 0.12 нм. Будут ли наблюдаться дифракционные максимумы, если расстояние между атомными плоскостями 0.275 нм?
18. Дифракционный максимум третьего порядка наблюдается при падении на кристалл рентгеновских лучей под углом скольжения  $12^\circ$ . На какой угол необходимо повернуть кристалл для образования дифракционного максимума первого порядка?

19. Какова должна быть постоянная дифракционной решетки, чтобы в спектре первого порядка для 500 нм угловая дисперсия равнялась  $4 \cdot 10^5$  радиан/м?

20. Рентгеновское излучение с длиной волны 0.2 нм падает на монокристалл. Чему равен угол скольжения, если в спектре второго порядка получен максимум? Межплоскостное расстояние равно 0.3 нм.

21. Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, главные плоскости которых составляют между собой угол  $60^\circ$ . Во сколько раз уменьшается интенсивность прошедшего света.

22. Интенсивность света после прохождения через поляризатор и анализатор уменьшилась в 4 раза. Найти угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если на поляризатор падал естественный свет.

23. Солнечные лучи, отраженные поверхностью реки, оказались полностью поляризованными. Под каким углом к горизонту находится Солнце? Чему равен угол преломления лучей?

24. Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, поставленные так, что угол между их главными плоскостями равен  $\varphi$ . Как поляризатор, так и анализатор поглощают 8% падающего на них света. Оказалось, что интенсивность луча, вышедшего из анализатора, равна 9% интенсивности естественного света, падающего на поляризатор. Найти угол  $\varphi$ .

25. Определите удельное вращение раствора сахара, концентрация которого  $0.33 \text{ г/см}^3$ , если при прохождении монохроматического света через трубку с раствором угол поворота плоскости поляризации равен  $22^\circ$ . Длина трубки 10 см.

26. Определите толщину кварцевой пластинки, для которой угол поворота плоскости поляризации света с длиной волны 500 нм равен  $48^\circ$ . Постоянная вращения кварца для этой длины волны  $30^\circ/\text{мм}$ .

27. Между скрещенными николями поместили пластинку кварца толщиной 4.15 мм. В результате поворота плоскости поляризации монохроматического света с длиной волны 589 нм поле зрения стало максимально светлым. Определить постоянную вращения кварца для света с указанной длиной волны.

28. Раствор сахара концентрацией  $0.08 \text{ г/см}^3$ , налитый в кювету, поворачивает плоскость поляризации света в поляриметре на угол  $10.1^\circ$ . Какова концентрация сахара в моче больного, если плоскость поляризации при исследовании повернулась на  $7.8^\circ$ ? Размеры кювет одинаковые.

29. Концентрация сахара в растворах определяют поляризационным методом, пользуясь светом желтых натриевых линий, для которых удельное вращение сахара при температуре  $20^\circ\text{C}$  равно  $66.5^\circ\text{см}^3/(\text{г}\cdot\text{дм})$ .

Какой длины необходимо использовать трубку для растворов, чтобы наблюдаемый угол поворота плоскости поляризации в градусах равнялся концентрации раствора в граммах на  $100 \text{ см}^3$ .

30. Между скрещенными поляроидами размещается третий поляроид так, что его главная плоскость составляет угол  $45^\circ$  с главной плоскостью первого поляроида. Как изменится интенсивность естественного света, проходящего через такое устройство? Поглощением света в поляроидах пренебречь.

31. На какую длину приходится максимум излучения абсолютно черного тела, имеющего температуру, равную температуре человеческого тела, т.е.  $t = 37^\circ\text{C}$ ?

32. Вследствие изменения температуры серого тела максимум спектральной плотности энергетической светимости сместился с  $2400 \text{ нм}$  на  $800 \text{ нм}$ . Во сколько изменилась энергетическая светимость тела?

33. На сколько сместится максимум спектральной плотности энергетической светимости при изменении температуры поверхности тела человека от  $30$  до  $31^\circ\text{C}$ ? Тело человека считать серым.

34. Температура черного тела равна  $1000\text{K}$ . На сколько процентов изменится его энергетическая светимость при повышении температуры на  $1\text{K}$ ?

35. На какую длину волны приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости поверхности Солнца, если температура его поверхности  $5800\text{K}$ ?

36. Монохроматический пучок проходит через стопу из  $N=5$  одинаковых плоскопараллельных стеклянных пластинок, каждая толщиной  $l=0,5\text{см}$ , в результате чего его интенсивность уменьшается в  $2,71$  раза. Пренебрегая вторичным отражением света, определить показатель поглощения данного стекла.

37. Интенсивность света, прошедшего через слой воздуха толщиной  $1\text{км}$ , уменьшилась в  $2,71$  раза, Определить коэффициент поглощения воздуха.

38. В  $4\%$ -ном растворе вещества в прозрачном растворителе интенсивность света на глубине  $20 \text{ мм}$  ослабляется в  $2$  раза. Во сколько раз ослабляется интенсивность света на глубине  $30 \text{ мм}$  в  $8\%$ -ном растворе того же вещества?

39. При прохождении монохроматического света через слой вещества толщиной  $15 \text{ см}$  его интенсивность убывает в  $4$  раза. Определить показатель рассеяния, если показатель поглощения  $\chi' = 0.025 \text{ см}^{-1}$ .

40. Чему равен молярный коэффициент поглощения вещества, на длине волны  $400 \text{ нм}$ , если при прохождении через раствор с концентрацией

0.5 моль/л интенсивность света уменьшилась в 10 раз? Длина кюветы 0.3 см.

41. Определите квантовый выход люминесценции вещества, если его оптическая плотность равна 0.06, а интенсивность люминесценции в 5 раз меньше интенсивности возбуждающего света.

42. Как изменится интенсивность люминесценции при увеличении оптической плотности образца с 1 до 100 при длине волны возбуждающего света.

43. Активность фермента уменьшилась в 10 раз при добавлении в раствор инкубации тушителя флуоресценции с конечной концентрацией  $10^{-4}$  моль/л. Определить, каким был механизм тушения флуоресценции (триплетный или синглетным), если константа тушения  $k = 10^9$  моль $^{-1}$ л $^{-1}$ с $^{-1}$ .

44. Найдите расстояние между подуровнями энергии атома, помещенного в магнитное поле индукцией 0.5 Тл; фактор  $g$  принять равным двум. Какой частоте и длине волны электромагнитного излучения соответствует переход с одного подуровня на другой?

45. В радиоспектроскопе электромагнитного парамагнитного резонанса поглощаемая высокочастотная электромагнитная энергия соответствует длине волны 3 см. При какой индукции постоянного магнитного поля наблюдается электронный парамагнитный резонанс? Принять  $g = 2$ .

46. Сравните длины волн де Бройля для электрона и шарика массой 1 г, если их скорость одинакова и равна 100 м/с.

47. В трубке цветного телевизора ускоряющее напряжение 20 кВ. Чему равна длина волны де Бройля для электрона в конце процесса ускорения?

48. Найти предел разрешения электронного микроскопа, принимая, что ускоряющее напряжение 100 кВ, а угловая апертура  $u = 10^{-2}$  рад. (Релятивистский эффект не учитывать).

49. Проекция скорости электрона на некоторое направление может быть определена с наименьшей погрешностью  $\Delta v = 10$  м/с. Какова (принципиально) неточность соответствующей координаты электрона?

50. Длительность возбужденного состояния атома водорода соответствует примерно  $\Delta t = 10^{-8}$  с. Чему равна неопределенность  $\Delta E$  энергетического уровня при этом?

51. Найдите границу тормозного рентгеновского излучения (частоту и длину волны) для напряжения 20 кВ? Во сколько раз энергия фотонов этих излучений больше энергии фотона, соответствующего красному свету с длиной волны 760 нм?

52. Определите скорость электронов, падающих на антикатод рентгеновской трубки, если минимальная длина волны в сплошном спектре рентгеновского излучения равна 1 нм.

53. Энергия фотонов, соответствующая граничной длине волны спектра тормозного рентгеновского излучения, равная 0.25 МэВ. Определить напряжение, приложенное к аноду трубки, и длину волны, на которую приходится максимум интенсивности рентгеновского излучения.

54. Определить напряжение  $U$ , под которым работает рентгеновская трубка, если коротковолновая граница  $\lambda_{min}$  в спектре тормозного рентгеновского излучения оказалась равной 15.5 пм.

55. Какое излучение будет более жестким: рентгеновское, возникающее при напряжении 150 кВ, или  $\gamma$ -излучение тулия ( $E_\gamma=0.074$ МэВ)?

56. Считая, что поглощение рентгеновского излучения не зависит от того, в каком соединении атом представлен в веществе, определите, во сколько раз массовый коэффициент ослабления кости ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) больше массового коэффициента воды?

57. Для рентгенодиагностики мягких тканей применяют контрастные вещества. Например, желудок и кишечник заполняют кашеобразной массой сульфата бария  $\text{BaSO}_4$ . Сравните массовые коэффициенты ослабления сульфата бария и мягких тканей (воды).

58. Определить энергию и массу фотонов, которым соответствуют длины волн: а)  $\lambda_1=6 \times 10^{-5}$  см (видимый свет); б)  $\lambda_2=10^{-8}$  см (рентгеновские излучение).

59. Определить минимальную длину волны в спектре излучения, возникающего в результате торможения на мишени электронов, ускоренных в камере бетатрона до энергии 60 МэВ.

60. Найдите поток рентгеновского излучения при напряжении в трубке 10 кВ и силе тока 1 мА. Анод изготовлен из вольфрама. Скольким фотонам в секунду соответствует этот поток, если допустить, что излучается электромагнитная волна, длина которой равна  $3/2$  длины волны, соответствующей границе спектра тормозного рентгеновского излучения?

61. При лечении опухоли головного мозга была применена методика нейтронозахватывающей терапии. Больному внутриартериально вводили соединения бора, избирательно накапливающиеся в опухоли. А затем последнюю облучали нейтронами. При этом возникала наведенная радиоактивность по реакции:  ${}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n} \rightarrow ? \rightarrow {}^7_3\text{Li} + \text{X}$ . Допisać ядерную реакцию. Определить, какое излучение, обозначенное буквой X, воздействовало на опухоль.

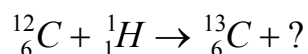
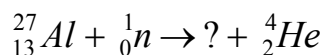
62. Определить периоды полураспада  $T$  продолжительность жизни радона и радия, если постоянные распада данных веществ соответственно равны  $2.1 \cdot 10^{-6}$  и  $1.354 \cdot 10^{-11} \text{ с}^{-1}$ .

63. При измерении периода полураспада короткоживущего радиоактивного вещества использовали счетчик импульсов. В течении 2 мин было зарегистрировано 500 импульсов, а спустя 1 час после начала первого измерения 92 импульса в 1 мин. Определить постоянную распада и период полураспада радиоактивного вещества.

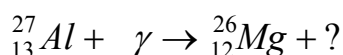
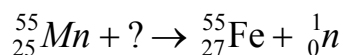
64. В ампулу поместили  $^{131}_{53}\text{I}$  (период полураспада 8 суток) активностью 200 мКи. Определить активность препарата через двое суток.

65. Определить процент оставшейся активности препарата  $^{60}_{27}\text{Co}$  (период полураспада 5.3 года) по прошествии трех лет работы.

66. Написать недостающие обозначения в следующих ядерных реакциях:



67. Написать недостающие обозначения в следующих ядерных реакциях:



68. Запишите реакции образования радиоактивного азота  $^{13}_7\text{N}$  из устойчивого изотопа бора  $^{10}_5\text{B}$  при искусственной  $\beta$ -радиоактивности. Каким превращениям будет подвергаться  $^{13}_7\text{N}$ ?

69. В тканях организма при поглощении ядром атома  $^{23}_{11}\text{Na}$  нейтрона образуется радиоактивный изотоп натрия. Написать ядерную реакцию. Какое излучение будет сопровождать эту реакцию?

70. Каким образом искусственная  $\beta$ -радиоактивность приводит к образованию  $^{30}_{14}\text{Si}$  из  $^{27}_{13}\text{Al}$ ?

71. Средняя мощность экспозиционной дозы облучения в рентгеновском кабинете равна  $6.45 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}/(\text{кг} \cdot \text{с})$ . Врач находится в течение дня 5 часов в этом кабинете. Какова его доза облучения за 6 рабочих дней?

72. На каком расстоянии от препарата  $^{60}_{27}\text{Co}$  активностью 200 мКи необходимо находиться, чтобы доза за 6-часовой рабочий день не превышала 0.017 Р?  $k_\gamma = 13.5 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{ч} \cdot \text{мКи})$



73. Рабочий в течение 6 часов находится в 2 м от источника  $\gamma$ -излучения. Какова должна быть активность источника излучения, чтобы можно было работать без защитного экрана? Предельно допустимая доза 1мГр в неделю.  $k_\gamma = 8.4 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{ч} \cdot \text{мКи})$ .

74. Для лиц, работающих непосредственно с источниками ионизирующих излучений (категория А), установлена предельно допустимая доза 0.001 Гр в неделю. Определить предельную мощность дозы рентгеновского или  $\gamma$ -излучения при 25 часовой рабочей неделе?

75. Средняя мощность дозы в палате, где находятся больные, получившие лечебные дозы радиоактивных веществ, равна 5 мкР/мин. Врач в течение 5-дневной рабочей недели ежедневно находится в палате в среднем 2 часа. Определить недельную дозу облучения врача, сравнить ее с предельно допустимой дозой, равной 0.1 Р.

76. Ампула с радиоактивным изотопом  $^{131}_{53}\text{I}$  создает на расстоянии 2 см мощность дозы 5 мР/мин. Определить мощность дозы облучения (в мкР/мин) врача, занимающегося фасовкой препарата, если он находится на расстоянии 50 см от ампулы.

77. Определить, во сколько раз увеличилась доза на поверхности поля облучения при рентгенотерапии, если облучение ошибочно производилось с расстояния 30 см вместо расчетного 40 см.

78. Определить мощность дозы излучения препарата  $^{60}_{27}\text{Co}$  создаваемую им на расстоянии 1.5 м, если со дня выпуска препарата активностью 2 Ки прошло 40 месяцев.  $k_\gamma = 13.5 \text{ Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{ч} \cdot \text{мКи})$ .

79. Мощность дозы  $\gamma$ -излучения на расстоянии 50 см от точечного источника составляет 0.1 Р/мин. Сколько времени в течение рабочего дня можно находиться на расстоянии 10 м от источника, если предельно допустимая доза за рабочий день не должна превышать 17 мР?

80. Бетонная плита толщиной 20 см уменьшает интенсивность узкого пучка  $\gamma$ -лучей кобальта  $^{60}_{27}\text{Co}$  в 16.5 раза. Определить линейный коэффициент ослабления и толщину слоя половинного ослабления для бетона.

81. Найдите коэффициент проницаемости плазматической мембраны  $\text{Musjplasma}$  для формамида, если при разности концентраций этого вещества внутри и снаружи мембраны, равной  $0,5 \cdot 10^{-4}$  моль/л, плотность потока его через мембрану равна  $8 \cdot 10^{-4}$  М·см/с.

82. Покажите, что уравнение Фика для диффузии является частным случаем уравнения Теорелла.

83. Покажите, что электродиффузное уравнение Нернста-Планка является частным случаем уравнения Теорелла.

84. Как изменится электродиффузное уравнение при отсутствии внешнего электрического поля?

84. Поток сахарозы вследствие диффузии в направлении «X» равен 5 мг/с. Концентрация водного раствора сахарозы в плоскости А, перпендикулярной «X», равна  $12 \text{ мг/см}^3$ , а в В, перпендикулярной «X», равна  $2 \text{ мг/см}^3$ . Расстояние между плоскостями А и В равно 2 см. Площади плоскостей, через которые движется поток, равны  $S_A = S_B = 2 \text{ см}^2$ . Определить коэффициент диффузии.

85. Определить массу вещества, диффундирующего через мембрану площадью  $2 \text{ мм}^2$  за 10 минут. Коэффициент диффузии равен  $0,53 \text{ см}^2/\text{с}$ , градиент концентраций –  $4,8 \text{ мг/см}^4$ .

86. Определите равновесный мембранный потенциал, создаваемый на бислойной липидной мембране ионами калия при температуре  $20^\circ\text{C}$ , если концентрация калия с одной стороны мембраны равна  $10^{-3}$  моль/л, а с другой –  $10^{-5}$  моль/л.

87. Рассчитайте потенциал покоя гигантского аксона кальмара, если известно, что концентрация ионов натрия снаружи равна  $440 \text{ ммоль/л}$ , а внутри его  $49 \text{ ммоль/л}$  (температура равна  $20^\circ\text{C}$ ).

88. Потенциал покоя нерва конечности краба равен  $89 \text{ мВ}$ . Чему равна концентрация ионов калия внутри нерва, если снаружи она составляет  $12 \text{ ммоль/л}$ ? Принять температуру равной  $20^\circ\text{C}$ .

89. Среднее значение концентрации ионов калия в аксоплазме гигантского аксона кальмара равно  $410 \text{ моль/м}^3$ , а в морской воде  $10 \text{ моль/м}^3$ . Вычислите потенциал Нернста с указанием знака при температуре  $27^\circ\text{C}$ .

90. Среднее значение концентрации ионов натрия в аксоплазме гигантского аксона кальмара равно  $49 \text{ моль/м}^3$ , а в морской воде  $460 \text{ моль/м}^3$ . Вычислите потенциал Нернста с указанием знака при температуре  $27^\circ\text{C}$ .

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ:

91. Фотобиологические процессы. Первичные стадии фотобиологических процессов. Спектры фотобиологического действия, их связь со спектрами поглощения.

92. Энергетические уровни молекул. Электронные, колебательные и вращательные спектры молекул. Области шкалы электромагнитного излучения, исследуемые в фармации. Спектральный анализ в фармации.

93. Рентгеновское излучение. Виды и способы получения, жесткость и мощность (интенсивность) рентгеновского излучения. Спектры тормозного и характеристического рентгеновского излучений. Поглощение рентгеновских волн. Физические основы использования рентгеновского

излучения в медицине. Рентгеновские методы исследования структуры вещества.

94. Радиоактивность. Основной закон радиоактивного распада. Активность радиоактивных препаратов. Искусственные радиоизотопы, их использование в медицине и биофизике. Метод меченых атомов.

95. Лазер. Индуцированное излучение. Инверсная заселенность энергетических уровней. Метастабильные уровни. Принцип работы гелий-неонового лазера. Применение лазеров в медицине.

96. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), блок-схема, ЭПР-спектрометры. Спектры ЭПР и их связь со свойствами вещества.

97. Приложение первого и второго начал термодинамики к биологическим системам. Энергетический баланс организма. Живой организм как открытая система, обмен энтропией с окружающей средой. Уравнение Пригожина. Стационарное состояние термодинамической системы. Теорема Пригожина. Аутостабилизация. Адаптация.

98. Биопотенциал действия, его свойства. Природа потенциала действия. Метод фиксации напряжений. Уравнение Ходжкина-Хаксли. Эквивалентная электрическая схема возбудимой мембраны. Ионные каналы. Распространение потенциала действия вдоль нервного волокна. Модель кабельно-релейной линии.

99. Пассивный транспорт веществ через мембрану. Математические модели пассивного транспорта (Теорелла, Нернста-Планка, Фика). Коэффициент проницаемости мембраны. Виды пассивного транспорта. Отличительные признаки простой от облегченной диффузии.

100. Моделирование биологических процессов. Виды моделей, преимущества математического моделирования перед физическим и биологическим. Фармакокинетическая модель. Три режима введения лекарственного препарата согласно фармакокинетической модели, математическое предсказание концентрации лекарственного препарата в крови больного.

## СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

*Идеальный газ. Термодинамика.*

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона)

$$pV = \frac{m}{M} RT,$$

где  $p, V, T$  – макроскопические параметры газа,  $R = 8.31$  Дж/(моль·К) – газовая постоянная,  $m$  – масса газа,  $M$  – масса одного моля газа.

Теплоемкость одного моля при постоянном объеме

$$C_{mV} = \frac{i}{2} R$$

Теплоемкость одного моля газа при постоянном давлении

$$C_{mp} = C_{mV} + R$$

Молярная теплоемкость связана с удельной теплоемкостью формулой

$$C_m = Mc$$

Первое начало термодинамики

$$Q = \Delta U + A.$$

Здесь  $Q$  – количество теплоты, переданное системе;  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии системы;  $A$  – работа, совершаемая системой.

Работа, совершаемая газом при изменении объема от  $V_1$  до  $V_2$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

где  $p$  – давление.

Для адиабатного процесса ( $Q=0$ )

$$\Delta U = A = n C_V (T_2 - T_1),$$

Здесь  $n$  – число молей идеального газа,  $C_V$  – молярная теплоемкость газа при постоянном объеме,  $T_1$  и  $T_2$  – начальная и конечная температуры.

Для изохорного процесса ( $V = \text{const}$ )

$$\Delta U = \Delta Q = n C_V \Delta T$$

Для изобарного процесса ( $p = \text{const}$ )

$$\Delta Q = n C_p \Delta T$$

Для изотермического процесса ( $T = \text{const}$ )

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_1}{V_2}$$

Изменение энтропии при нагревании или охлаждении вещества от температуры  $T_1$  до температуры  $T_2$

$$\Delta S = n C_p \ln \frac{T_2}{T_1},$$

*Течение жидкости. Биореология.*

Уравнение Бернулли для точек идеальной жидкости, принадлежащих одной линии тока,

$$p_{cm} + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{const},$$

где  $p_{cm}$  – статическое,  $\rho v^2 / 2 = p_d$  – динамическое,  $\rho gh$  – гидростатическое давление;  $\rho$  – плотность жидкости;  $v$  – ее скорость;  $h$  – высота соответствующей точки жидкости относительно некоторого уровня (например, уровня Земли).

Сила внутреннего трения, действующая между слоями жидкости площадью  $S$ , (уравнение Ньютона)

$$F_{mp} = \eta \frac{dv}{dx} S,$$

где  $\eta$  – вязкость;  $d v / dx$  – градиент скорости.

Объем жидкости переносимый за 1 с:

через сечение цилиндрической трубы радиусом  $R$  (формула Пуазейля)

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \cdot \frac{p_1 - p_2}{l},$$

через переменное сечение

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \cdot \frac{dp}{dl},$$

где  $l$  – длина участка трубы, на концах которого поддерживается разность давлений ( $p_1 - p_2$ ).

Гидравлическое сопротивление

$$X = \frac{8\eta l}{\pi R^4}.$$

Сила внутреннего трения, действующая на движущееся в жидкости тело (шарик) радиусом  $r$  (закон Стокса).

$$F_{mp} = 6\pi\eta r v,$$

где  $v$  – скорость шарика.

Скорость равномерного падения шарика в вязкой жидкости

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho - \rho_{ж}) r^2 g}{\eta},$$

где  $\rho$  и  $\rho_{ж}$  – плотность материала, из которого сделан шарик, и жидкости соответственно.

Число Рейнольдса для трубы диаметром  $D$

$$Re = \frac{\rho_{ж} v D}{\eta} = \frac{v D}{\nu},$$

где  $v$  – скорость жидкости;  $\nu = \frac{\eta}{\rho_{ж}}$  – кинематическая вязкость.

Для гладких цилиндрических труб критическое число Рейнольдса приблизительно равно **2300**.

Работа, совершаемая сердцем при каждом сокращении

$$A = 1.2V \left( p + \frac{\rho v^2}{2} \right),$$

где  $p$  – среднее давление, под которым кровь выбрасывается в аорту,  $\rho$  – плотность крови в аорте,  $V$  – ударный объем.

Коэффициент поверхностного натяжения

$$\sigma = \frac{F}{l} = \frac{A}{S},$$

где  $F$  – сила поверхностного натяжения,  $l$  – длина границы раздела фаз,  $A$  – работа по изменению площади поверхности на величину  $S$ .

Дополнительное давление под сферической поверхностью жидкости

$$\Delta p = 2\sigma/r,$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости;  $r$  – радиус сферической поверхности.

Высота поднятия (опускания) жидкости в капилляре

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{R\rho_{жс}g},$$

где  $\theta$  – краевой угол;  $R$  – радиус капилляра;  $\rho_{жс}$  – плотность жидкости.

### Механические колебания

Дифференциальные уравнения свободных незатухающих колебаний

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega_0^2 x,$$

где  $x$  – смещение колеблющейся материальной точки;  $t$  – время;  $\omega_0 = \sqrt{k/m}$  – круговая частота колебаний, где  $k$  – коэффициент квазиупругой силы ( $F = -kx$ ), возникающей в системе при выходе ее из положения равновесия.

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где  $A$  – амплитуда колебаний;  $\varphi = \omega_0 t + \varphi_0$  – фаза колебаний;  $\varphi_0$  – начальная фаза колебаний ( $\varphi = \varphi_0$  при  $t=0$ );  $\omega_0$  – круговая частота колебаний.

Период колебаний:

математического маятника

$$T = 2\pi/\omega_0 = 2\pi\sqrt{l/g},$$

где  $l$  – длина маятника;  $g$  – ускорение свободного падения;

пружинного маятника

$$T = 2\pi\sqrt{m/k},$$

где  $k$  – жесткость пружины;

Скорость материальной точки, совершающей гармонические колебания,

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = -v_{max} \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = v_{max} \cos(\omega_0 t + \omega_0 + \pi/2)$$

где  $v_{max} = A\omega_0$  – амплитуда скорости.

Ускорение материальной точки при гармонических колебаниях

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = -a_{max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = a_{max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \pi)$$

где  $a_{max} = A\omega_0^2$  – амплитуда ускорения.

Энергия колеблющейся материальной точки:

кинетическая

$$E_K = \frac{kA^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0);$$

потенциальная

$$E_{II} = \frac{kA^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0);$$

полная

$$E = E_K + E_{II} = \frac{kA^2}{2}.$$

Амплитуда сложного колебания

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_{02} - \varphi_{01})},$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – амплитуды слагаемых гармонических колебаний;  $\varphi_{01}$  и  $\varphi_{02}$  – их начальные фазы.

Начальная фаза сложного колебания

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

При сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний, заданных уравнениями

$$x = A_1 \cos(\omega_0 t + \varphi_{01}) \quad \text{и} \quad y = A_2 \cos(\omega_0 t + \varphi_{02}),$$

получаем периодическое движение материальной точки по эллиптической траектории.

В общем случае, уравнение эллипса

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - 2 \frac{xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_{02} - \varphi_{01}) = \sin^2(\varphi_{02} - \varphi_{01}).$$

Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0,$$

где  $\beta = \gamma/(2m)$  – коэффициент затухания;  $\gamma$  – коэффициент пропорциональности между скоростью материальной точки и силой трения, равной  $F_{mp} = -r\nu$ .

Решение зависит от знака разности:

$$\omega^2 = \omega_0^2 - \beta^2,$$

где  $\omega$  – круговая частота затухающих колебаний.

При  $\omega_0^2 - \beta^2 = \omega^2 > 0$

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Период колебаний

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}.$$

При  $\omega_0^2 - \beta^2 = \omega^2 < 0$  период становится мнимым, а процесс – аperiodическим.

Амплитуда затухающих колебаний

$$A = A_0 e^{-\beta t}.$$

Логарифмический декремент затухания

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)},$$

где  $A(t)$  и  $A(t+T)$  – две последовательные амплитуды колебаний, разделенные интервалом времени, равным периоду.

Связь коэффициента затухания и логарифмического декремента затухания

$$\lambda = \beta T.$$

Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = f_0 \cos \omega t,$$

где  $f_0 = F_0/m$ ,  $F_0$  - амплитуда вынуждающей силы.

Смещение материальной точки после установления вынужденных колебаний

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

$$\text{где } A = f_0 / \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2},$$

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = -2\beta\omega / (\omega^2 - \omega_0^2).$$

Круговая частота вынужденных колебаний при резонансе

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

Амплитуда вынужденных колебаний при резонансе

$$A_{\text{рез}} = f_0 / (2\beta \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}).$$

Уравнение плоской упругой волны

$$s = A \cos \omega(t - y/v),$$

где  $s$  – смещение колеблющихся точек в волне относительно их положения равновесия;  $y$  – координата положения равновесия какой – либо точки;  $v$  – скорость распространения волны (фазовая скорость).

Интенсивность волны (плотность потока энергии)

$$I = w_p v,$$

где  $w_p$  – объемная плотность энергии колебательного движения;  $v$  – скорость волны.

Объемная плотность энергии упругой волны, распространяющейся в веществе,

$$w_p = \rho A^2 \omega_0^2 / 2$$

где  $\rho$  – плотность вещества.

Частота колебаний, воспринимаемая наблюдателем (эффект Доплера):

$$v' = \frac{v \pm v_n}{v \mp v_u} v,$$

где  $v_n$  и  $v_u$  – скорости наблюдателя и источника упругой волны относительно среды;  $v$  – скорость распространения волны в этой среде;  $v$  – частота испускаемых колебаний. Верхние знаки соответствуют встречному движению наблюдателя и источника, нижние – движению в противоположные стороны.



Доплеровский сдвиг частоты

$$v_D = \frac{2v_0}{v} v,$$

где  $v_0$  – скорость движущегося тела;  $v$  – скорость волны (ультразвука). Формула получена в предположении  $v \gg v_0$ .

Связь интенсивности звука и звукового давления для плоской волны

$$I = p^2 / (2\rho v),$$

где  $\rho$  – плотность среды, в которой распространяется звук;  $v$  – его скорость.

Бел (Б) – в общем случае единица логарифмической относительной величины (логарифма отношения двух одноименных физических величин). Так, например,

$$L_B = \lg(I/I_0), \quad I = 10^{L_B} I_0,$$

где  $L_B$  – выраженный в белах уровень интенсивности  $I$  звука относительно  $I_0$ , принятого за начальный уровень шкалы, или в децибелах (дБ)

$$L_{дБ} = 10 \lg(I/I_0), \quad I = 10^{L_{дБ}/10} I_0.$$

Из этого следует

$$\lg I/I_0 = \lg p^2/p_0^2 = 2 \lg p/p_0.$$

Считают, что шкалы громкости (Е) и интенсивности звука (L) совпадают на частоте 1 кГц:

$$E_B = L_B = \lg(I/I_0)$$

или в фонах

$$E_\Phi = L_{дБ} = 10 \lg(I/I_0).$$

Соответствие между интенсивностью и громкостью звука на разных частотах можно найти по кривым равной громкости (см. учебники).

#### *Электромагнитные колебания и волны*

Период электромагнитных колебаний в колебательном контуре

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

где  $C$  – емкость конденсатора и  $L$  – индуктивность катушки, образующих колебательный контур.

Коэффициент затухания

$$\beta = \frac{R}{2L},$$

где  $R$  – активное (омическое) сопротивление колебательного контура).

Добротность колебательного контура

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Соотношение между частотой колебаний и длиной волны

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

где  $\nu$  – частота,  $v$  – скорость волны в данной среде.

Показатель преломления среды

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

где  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света в вакууме,  $v$  – скорость электромагнитной волны в среде.

Объемная плотность энергии электрического поля

$$w_e = \varepsilon_r \varepsilon_0 E^2 / 2.$$

Объемная плотность энергии магнитного поля

$$w_m = \frac{1}{2} BH = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu_r \mu_0} = \frac{\mu_0 \mu_r H^2}{2}.$$

Объемная плотность энергии электромагнитной волны

$$w = w_e + w_m = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu_r \mu_0 B^2}{2} = \sqrt{\varepsilon_r \varepsilon_0 \mu_r \mu_0} EH = \varepsilon_r \varepsilon_0 E^2 = \mu_r \mu_0 B^2$$

Плотность потока энергии волны (интенсивность волны)

$$I = w \cdot v,$$

где  $v$  – скорость волны.

$$I = \frac{E^2}{t \cdot 4\pi R^2},$$

где  $t$  – время излучения  $E$  – энергии электромагнитной волны точечного источника, находящегося на расстоянии  $R$ .

#### *Дифракционные явления*

Основная формула дифракционной решетки (условие для главных максимумов)

$$C \sin \varphi = k\lambda$$

где  $k = 0, 1, 2, \dots$  – порядок главных максимумов,  $C$  – постоянная (период) решетки.

Разрешающая способность дифракционной решетки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN$$

где  $\Delta\lambda = (\lambda_1 - \lambda_2)$  – разность предельно разрешимых (различимых) длин волн;  $N$  – число щелей решетки.

Предел разрешения микроскопа (при отражении света от объекта) при наклонном падении света на объект

$$Z = 0.5 \frac{\lambda}{n \sin(u/2)} = 0.5 \frac{\lambda}{A}$$

где  $\lambda$  – длина волны в вакууме,  $n$  – показатель преломления среды, находящейся между предметом и линзой объектива,  $u$  – угловая апертура (угол между крайними лучами конического светового пучка, входящего в оптическую систему);  $A = n \sin(u/2)$  – числовая апертура.

Условие дифракционных максимумов при отражении рентгеновских лучей от кристалла (формулы Вульфа-Брэггов):

$$2\ell \sin \theta = k\lambda,$$

где  $\ell$  – межплоскостное расстояние;  $\theta$  – угол скольжения (угол между отражающей плоскостью и падающими лучами);  $k = 1, 2, 3, \dots$  – порядок спектра

*Поляризация света*

Интенсивность поляризации света

$$I_{\text{п}} = 0.5I_{\text{ест}}$$

где  $I_{\text{ест}}$  - интенсивность естественного света, падающего на поляризатор.

Интенсивность света, вышедшего из анализатора (закон Малюса)

$$I_{\text{а}} = I_{\text{п}} \cos^2 \varphi$$

где  $I_{\text{п}}$  – интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор;  $\varphi$  – угол между плоскостью поляризации поляризованного света и главной плоскостью анализатора.

Закон Брюстера

$$\text{tg} i_{\text{Б}} = n$$

где  $n$  – относительный показатель преломления двух сред;  $i_{\text{Б}}$  – угол полной поляризации.

Угол поворота плоскости поляризации в оптически активном веществе

$$\alpha = \alpha_0 l$$

в растворе

$$\alpha = [\alpha_0] c l$$

где  $[\alpha_0]$  – постоянная вращения (вращательная способность),  $\alpha_0$  – удельное вращение,  $c$  – концентрация раствора оптически активного вещества,  $l$  – толщина слоя оптически активного вещества или раствора.

*Тепловое излучение*

Закон Кирхгофа

$$\left( \frac{R_{\text{е}}}{\alpha} \right) = R_{\text{а.ч.т.}}$$

где  $R_{\text{е}}$  – энергетическая светимость тела,  $R_{\text{а.ч.т.}}$  – энергетическая светимость абсолютно черного тела,  $\alpha$  – поглощательная способность тела.

Закон Стефана-Больцмана

$$R_{\text{а.ч.т.}} = \sigma T^4$$

где  $T$  – термодинамическая температура черного тела,  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>К) – постоянная Стефана-Больцмана.

Закон Вина

$$\lambda_{\text{min}} = \frac{b}{T}$$

где  $\lambda_{\text{min}}$  – длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости черного (серого) тела,  $b = 2.9 \cdot 10^{-3}$  мК.

*Взаимодействие света с веществом. Люминесценция.*

Интенсивность света, вышедшего из слоя вещества толщиной  $\ell$  после поглощения (закон Бугера)

$$I_{\ell} = I_0 e^{-x\ell},$$

где  $I_0$  – интенсивность света, падающего на слой поглощающего вещества;  $x$  – натуральный показатель поглощения.

Если данный закон записывается для монохроматического света, то коэффициент  $x$  называют монохроматическим натуральным показателем поглощения.

Закон Бугера

$$I_{\ell} = I_0 \cdot 10^{-x'\ell},$$

где  $x' \approx 0,43x$  - показатель поглощения.

Закон Бугера - Ламберта - Бера

$$I_{\ell} = I_0 e^{-x_1 c \ell}, \text{ или}$$

$$I_{\ell} = I_0 \cdot 10^{-x_1' c \ell}, \text{ или}$$

$$I_{\ell} = I_0 e^{-\varepsilon C \ell},$$

где  $x_1$  и  $x_1'$  - натуральный ( или монохроматический натуральный ) показатель поглощения и показатель поглощения света на единицу концентрации вещества;  $c$  - концентрация растворенного вещества;  $\varepsilon$  - молярный показатель поглощения;  $C$  - молярная концентрация.

Коэффициент пропускания  $\tau$  равен отношению интенсивностей света, прошедшего сквозь данное тело (или раствор) и упавшего на это тело

$$\tau = I_{\ell} / I_0.$$

Оптическая плотность раствора

$$D = \lg\left(\frac{I_0}{\tau}\right) = \lg\left(\frac{I_0}{I_{\ell}}\right) = x_1' c \ell.$$

Закон ослабления интенсивности света вследствие рассеяния

$$I_{\ell} = I_0 \cdot 10^{-\kappa'\ell},$$

где  $\kappa'$  - показатель рассеяния.

Закон ослабления интенсивности света вследствие совместного действия поглощения и рассеяния

$$I_{\ell} = I_0 \cdot 10^{-\mu'\ell},$$

где  $\mu' = x' + \kappa'$  - показатель ослабления.

Формула Хиски

$$\frac{I_1}{I_0} = \left(\frac{s_0}{s_1}\right)^r,$$

где  $I_0$  и  $I_1$  - интенсивность излучения, прошедшего через раствор сравнения и исследуемый раствор;  $s_0$  и  $s_1$  - ширина щели монохроматора при исследовании раствора сравнения и изучаемого раствора соответственно;  $r$  - чувствительность спектрофотометра.

Интенсивность люминесценции вещества

$$I_{\lambda} = 2,3 I_0 \varphi D,$$

где  $I_0$  - интенсивность возбуждающего света;  $\varphi$  - квантовый выход люминесценции;

$D$  - оптическая плотность образца.

Время жизни молекулы в возбужденном состоянии

$$\ln \frac{I_{\lambda 0}}{I_{\lambda t}} = \frac{t}{\tau},$$

где  $I_{t0}$  - интенсивность люминесценции в начальный момент времени и  $I_t$  - в момент времени  $t$  после начала измерения.

Формула Штерна - Фольмера

$$\frac{U}{U_T} = 1 + \kappa \tau C_T,$$

где  $U$  и  $U_T$  - наблюдаемая величина при отсутствии тушителя флуоресценции и вместе с ним;  $C_T$  - молярная концентрация тушителя;  $\tau$  - время жизни молекулы в возбужденном состоянии;  $\kappa = 10^9 \text{ M}^{-1} \cdot \text{c}^{-1}$ .

Если  $\tau \approx 1$  нс, то наблюдается синглетный механизм тушения флуоресценции, если  $\tau \approx 1$  мкс, то тушение флуоресценции происходит по триплетному механизму.

*Ионизирующее излучение. Основы дозиметрии.*

Граница спектра тормозного рентгеновского излучения

$$\lambda_{\min} = 1.23/U,$$

где  $U$  - напряжение в рентгеновской трубке, кВ;  $\lambda_{\min}$  в нм.

Поток рентгеновского излучения

$$\Phi = \kappa I U^2 Z,$$

где  $I$  и  $U$  - сила тока и напряжение в рентгеновской трубке;  $Z$  - порядковый номер элемента вещества анода;  $\kappa = 10^{-9} \text{ B}^{-1}$ .

Длина волны, соответствующая максимуму потока рентгеновского излучения

$$\lambda_{\max} = 1.5 \lambda_{\min}$$

Массовый коэффициент ослабления рентгеновского излучения

$$\mu_m = \kappa \lambda^3 Z^3,$$

где  $\kappa$  - коэффициент пропорциональности;  $\lambda$  - длина волны;  $Z$  - порядковый номер элемента вещества-поглотителя.

Линейный коэффициент ослабления рентгеновского излучения

$$\mu = \mu_m \rho,$$

где  $\rho$  - плотность вещества.

Энергия, масса и импульс фотона

$$\begin{aligned} \varepsilon &= h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \\ m &= \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}, \\ p &= \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \end{aligned}$$

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A + \frac{1}{2} m v^2,$$

где  $h\nu$  - энергия фотона;  $\frac{1}{2} m v^2$  - максимальная кинетическая энергия электрона, вылетевшего из металла;  $A$  - работа выхода электрона из металла.

Основной закон радиоактивного распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где  $N_0$  - начальное число радиоактивности ядер;  $N$  - их число к моменту времени  $t$ ;  
 $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$  - постоянная распада,  $T_{1/2}$  - период полураспада.

Изменение активности препарата со временем

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}.$$

Удельная активность источника

$$A_m = \frac{A}{m},$$

где  $m$  - масса препарата.

Поглощенная доза ионизирующего излучения

$$D = \frac{E}{m},$$

где  $m$  – масса поглощающего вещества,  $E$  - поглощенная энергия

Связь поглощенной и экспозиционной доз

$$D = fX,$$

где  $f$  - переходный коэффициент (для воды и мягких тканей человека  $f=1$ ).

Связь эквивалентной и поглощенной доз

$$H = \kappa D,$$

где  $\kappa$  - коэффициент качества.

Мощность ионизирующего излучения

$$P = k_\gamma \frac{A}{r^2},$$

где  $r$  – расстояние до источника излучения.

Закон ослабления (закон Бугера)

$$I_\ell = I_0 e^{-x\ell},$$

где  $I_0$  - интенсивность излучения, падающего на слой поглощающего вещества;  
 $x$  - показатель поглощения.

#### Волновые свойства частиц

Длина волны, связанная с частицей, обладающей импульсом  $p=mv$ , (длина волны де Бройля)

$$\lambda_B = \frac{h}{mv}$$

где  $m$  - масса частицы,  $v$  - ее скорость,  $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с - постоянная Планка.

Предел разрешения электронного микроскопа

$$z = 0.5 \frac{h}{\sqrt{2eU} \sin(u/2)}$$

где  $U$  – ускоряющее напряжение,  $u$  – угловая апертура,  $m = 9.1 \cdot 10^{-31}$  кг – масса электрона,  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  Кл – заряд электрона.

Соотношение неопределенностей:

$$\Delta x \Delta p_x \geq h / 2\pi$$

где  $\Delta x$  – неопределенность (неточность координаты),  $\Delta p_x$  – неопределенность в определении проекции импульса частицы не соответствующую координату;

$$\Delta E \Delta t \geq h / 2\pi$$

где  $\Delta E$  - неопределенность энергии некоторого состояния системы,  $\Delta t$  - время его существования.

Расстояние между подуровнями энергии атома, помещенного в магнитное поле с индукцией  $B$

$$\Delta E = g\mu_B B$$

где  $g$  – множитель Ланде,  $\mu_B = 9.27 \cdot 10^{-24}$  Дж/Тл.

### *Физические процессы в биологических мембранах*

Уравнение Фика

$$J = -D \frac{dC}{dx},$$

где  $J$  – плотность потока диффундирующего вещества;

$D$  – коэффициент диффузии;

$\frac{dC}{dx}$  - производная от концентрации диффундирующего вещества по направлению  $x$  (проекция градиента концентраций на направление  $x$ ).

Уравнение Теорелла

$$J = -CU \frac{d\mu}{dx}.$$

Здесь  $\mu$  – электрохимический потенциал;

$U = \frac{D}{RT}$  - подвижность, где  $R$ - молярная газовая постоянная.

$P = \frac{D}{l} K$  – проницаемость мембраны для данного вещества, где  $l$  – толщина мембраны,  $K$  – коэффициент распределения.

Формула Нернста

$$\Delta\varphi = \frac{RT}{ZF} \ln \frac{C_o}{C_i}$$

Здесь  $\Delta\varphi$  – равновесный мембранный потенциал;

$C_o$  и  $C_i$  – концентрации данного иона снаружи и внутри клетки;

$F$  – постоянная Фарадея;

$Z$  – валентность иона.

Уравнение Гольдмана – Ходжкина – Катца

$$\varphi_M = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+]_o + P_{Na} [Na^+]_o + P_{Cl} [Cl^-]_i}{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_o},$$

где  $\varphi_M$  – мембранный потенциал;

$P_K, P_{Na}, P_{Cl}$  – проницаемости мембраны для соответствующих ионов;

$[K^+]_o, [Na^+]_o, [Cl^-]_o$  – концентрации ионов снаружи клетки;

$[K^+]_i, [Na^+]_i, [Cl^-]_i$  – концентрации этих же ионов внутри нее.

**Рекомендуемая литература.**

1. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. М., 1996 и последующие годы издания.
2. Трофимова Т.И. Курс Физики. М., 1999.
3. Ливенцев Н.М. Курс физики. М., 1978.
4. Ремизов А.Н. Сборник задач по медицинской и биологической физике. М., 1996.
5. Биофизика: Учебник для студентов высших учебных заведений. – М., 1999.
6. Кабардин О.Ф. Физика (справочные материалы). М., 1985.
7. Савельев И.В. Курс общей физики. М., 1989.