

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(РГГМУ)**

Кафедра физики

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
И КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 6**

по дисциплине

**«ФИЗИКА»**

Раздел

**«Физика атомов и атомных ядер. Элементарные частицы.  
Основы квантовой механики»**

Курс 2

Для направлений: 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология  
05.03.06 – Экология и природопользование

Заочная форма обучения



Санкт-Петербург, 2018

УДК 539.1 + 536

Утверждено Редакционно-издательским советом РГГМУ

**Методические указания и контрольная работа № 6 по дисциплине «Физика».** Раздел «Физика атомов и атомных ядер. Элементарные частицы. Основы квантовой механики». – СПб.: Изд. РГГМУ, 2018. – 36 с.

*Составители:* Т.Ю. Яковлева, А.В. Бармасов, А.М. Бармасова, В.В. Косцов, Н.В. Дьяченко.

*Ответственный редактор:* А.П. Бобровский.

Настоящее учебно-методическое пособие содержит методические указания и контрольную работу по разделу «Физика атомов и атомных ядер. Элементарные частицы. Основы квантовой механики».

Цель данного учебно-методического пособия – оказать помощь студентам-заочникам в изучении курса физики.

В пособии даны основные формулы и контрольная работа. Кроме того, в пособии даны общие методические указания и некоторые справочные таблицы.

Учебно-методическое пособие может быть использовано как для аудиторных занятий, так и для самостоятельной работы студентов факультетов: метеорологического, гидрологического, экологического, океанологического.

© Авторы, 2018,

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2018

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Учебная работа студента-заочника по изучению физики складывается из следующих основных элементов: самостоятельного изучения физики по учебным пособиям, решения задач, выполнения контрольных и лабораторных работ, сдачи зачётов и экзаменов.

### *1. Указания к самостоятельной работе по учебным пособиям*

1. Изучать курс систематически в течение всего учебного процесса. Изучение физики в сжатые сроки перед экзаменом не даст глубоких и прочных знаний.

2. Выбрав какое-либо учебное пособие в качестве основного для определённой части курса, придерживаться данного пособия при изучении всей части или, по крайней мере, её раздела. Замена одного пособия другим в процессе изучения может привести к утрате логической связи между отдельными вопросами. Но если основное пособие не даёт полного и ясного ответа на некоторые вопросы программы, необходимо обращаться к другим учебным пособиям.

3. При чтении учебного пособия составлять конспекты, в которых записывать законы и формулы, выражающие эти законы, определение физических величин и их единиц, делать чертежи и решать типовые задачи. При решении задач следует пользоваться Международной системой единиц (СИ).

4. Самостоятельную работу по изучению физики подвергать систематическому контролю. Для этого после изучения очередного раздела следует ставить вопросы и отвечать на них. При этом надо использовать рабочую программу физики.

5. Прослушать курс лекций по физике, организуемый для студентов-заочников. Пользоваться очными консультациями преподавателей, а также задавать вопросы в письменном виде.

### *2. Указания к решению задач*

1. Указать основные законы и формулы, на которых базируется решение, и дать словесную формулировку этих законов, разъяснить буквенные обозначения формул. Если при решении задач применяется формула, полученная для частного случая, не выражающая какой-нибудь физической закон, или не являющаяся определением какой-нибудь физической величины, то её следует вывести.

2. Дать чертёж, поясняющий содержание задачи (в тех случаях, когда это возможно); выполнять его надо аккуратно с помощью чертёжных принадлежностей.

3. Сопровождать решение задачи краткими, но исчерпывающими пояснениями.

4. Получить решение задачи в общем виде, т. е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи. При этом способе решения не производятся вычисления промежуточных величин.

5. Подставить в правую часть полученной рабочей формулы вместо символов величин обозначения единиц, произвести с ними необходимые действия и убедиться в том, что полученная при этом единица соответствует искомой величине.

6. Подставить в рабочую формулу числовые значения величин, выраженные в единицах одной системы. Несоблюдение этого правила приводит к неверному результату. Исключение из этого правила допускается лишь для тех однородных величин, которые входят в виде сомножителей в числитель и знаменатель формулы с одинаковыми показателями степени. Такие величины не обязательно выражать в единицах той системы, в которой ведётся решение задачи. Их можно выразить в любых, но только одинаковых единицах.

7. Произвести вычисление величин, подставленных в формулу, руководствуясь правилами приближенных вычислений записать в ответе числовое значение и сокращённое наименование единицы искомой величины.

8. При подстановке в рабочую формулу, а также при записи ответа числовые значения величин записать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 7460 надо записать  $7,46 \cdot 10^3$ , вместо 0,00000298 записать  $2,98 \cdot 10^{-6}$  и т.д.

9. Оценить, где это целесообразно, правдоподобность числового ответа. В ряде случаев такая оценка поможет обнаружить ошибочность полученного результата. Например, коэффициент полезного действия тепловой машины не может быть больше единицы, электрический заряд не может быть меньше элементарного заряда  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, скорость тела не может быть больше скорости света в вакууме  $c_0 = 3 \cdot 10^8$  м/с и т.д.

### 3. Указания к выполнению контрольных работ

К выполнению контрольных работ по каждому разделу физики студент-заочник приступает только после изучения материала, соответствующего данному разделу программы.

При выполнении контрольных работ студенту необходимо руководствоваться следующим:

1. Контрольные работы выполняются чернилами в обычной школьной тетради, на обложке которой приводятся сведения по следующему образцу:

Контрольная работа № 6 по физике  
(вариант 4, номер зачётки 09134)

студента 2 курса гидрологического факультета РГГМУ  
Пушкина Александра Сергеевича.

Адрес: индекс 190000, г. С.-Петербург, Невский пр., д. 77, кв. 1.

2. Условия задач к контрольной работе переписываются полностью без сокращений. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставляются поля.

3. В конце контрольной работы указывается, каким учебником или учебным пособием студент пользовался при изучении физики (название учебника, автор, год издания). Это делается для того, чтобы рецензент в случае необходимости мог указать, что следует студенту изучить для завершения контрольной работы.

4. Высылать на рецензию следует одновременно не более одной работы. Во избежание одних и тех же ошибок очередную работу следует высылать только после получения рецензии на предыдущую.

5. Если контрольная работа при рецензировании не зачтена, студент обязан представить её на повторную рецензию, включив в неё те задачи, решения которых оказались неверными. Повторная работа представляется вместе с незачтённой.

6. В контрольной работе студент должен решить 8-9 задач того варианта, номер которого совпадает с последней цифрой его зачётки. Номера задач, которые студент должен включить в контрольную работу, определяются по таблицам вариантов.

7. Зачтённые контрольные работы предъявляются экзаменатору. Студент должен быть готов во время экзамена дать пояснения по существу решения задач, входящих в контрольные работы.

## ФИЗИКА АТОМОВ И АТОМНЫХ ЯДЕР. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ. ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

**Постоянная (число) Лёшмидта**  $N_L$  – число молекул в  $1 \text{ см}^3$  вещества, находящегося в состоянии идеального газа при нормальных условиях:

$$N_L = \frac{N_A}{V_m}, \quad (6.1.1)$$

где  $N_A$  – постоянная Авогадро;  $V_m$  – объём 1 моля идеального газа при нормальных условиях, равный  $(22\,413,83 \pm 0,70) \text{ см}^3$ . В практических расчётах принимают  $N_L = 2,68 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ .

**Формула Ридберга:**

$$\nu = c R_\infty \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad (6.1.2)$$

где  $R_\infty$  – постоянная Ридберга.

**Первый постулат Бора** («Постулат о стационарных состояниях»): В атоме существуют орбиты, вращаясь по которым, электрон не излучает:  $m_e v r = n \frac{h}{2\pi} = n \hbar$ .

**Второй постулат Бора** («Постулат о квантовых скачках»): Излучение происходит только при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую, частота излучения определяется формулой Планка–Эйнштейна  $h\nu = \Delta E$ .

**Формула Бора:**

$$\nu = \frac{m_e e^4}{4\pi \hbar^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right). \quad (6.1.3)$$

**Принцип соответствия Бора:** существует предельный случай (большие квантовые числа), когда формулы квантовой механики переходят в формулы классической механики. Этот предельный случай может быть охарактеризован неравенством:

$$\frac{m_e v^3}{w} \gg \frac{h}{2\pi}, \quad (6.1.4)$$

где  $m_e$  – масса электрона;  $v$  и  $w$  – параметры, дающие порядок величины его скорости и ускорения в системе отсчёта, связанной с ядром.

**Формула де Бройля** устанавливает связь между длиной волны и импульсом:

$$\lambda_D = \frac{h}{mv}. \quad (6.2.1)$$

**Неравенства Гейзенберга:**

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar, \Delta y \Delta p_y \geq \hbar, \Delta z \Delta p_z \geq \hbar, \quad (6.2.2)$$

$$\Delta t \cdot \Delta(E' - E) \geq \hbar. \quad (6.2.3)$$

В соответствии с **правилом Клечковского** заполнение электронных слоёв происходит в порядке увеличения сумм главного и орбитального квантовых чисел ( $n + l$ ).

**Принцип запрета Паули:** одну атомную орбиталь (АО) могут занимать не более двух электронов, причём спины этих электронов должны быть спарены, т. е. противоположны по направлению (другими словами – в одном и том же квантовом состоянии не могут находиться два электрона, т. е. два электрона не могут иметь одинаковые наборы квантовых чисел  $n, l, m_l$  и  $m_s$ ).

**Правило Хунда:** электроны сначала по одному заполняют все вырожденные АО (т. е. АО с одинаковой энергией), причём спины этих электронов должны быть параллельны, что соответствует максимальной величине суммарного спина атома. Только после этого может происходить окончательное заполнение вырожденных АО вторыми электронами.

**Закон Мёзли:** Корень квадратный из частоты  $\nu$  характеристического рентгеновского излучения атома химического элемента и его атомный номер (зарядовое число)  $Z$  связаны линейной зависимостью:

$$\sqrt{\frac{v}{R_\infty}} = \frac{Z - S_n}{n}, \quad (6.3.1)$$

где  $R_\infty$  – постоянная Ридберга ( $R_\infty = (1,0973731534 \pm 0,000000013) \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ );  $S_n$  – постоянная экранирования, учитывающая влияние на отдельный электрон всех остальных электронов атома;  $n$  – главное квантовое число в квантовой механике (может быть равно любому натуральному числу (1, 2, 3, ...) и соответствует квантовому числу в теории Бора).

**Закон (условие) Брэгга–Вульфа:**

$$\lambda = 2 \frac{d}{n} \sin \theta, \quad (6.3.2)$$

где  $d$  – расстояние между плоскостями с индексами  $h$ ,  $k$  и  $l$  (период),  $n = 1, 2, \dots$  – целые числа (порядок дифракции);  $\theta$  – угол, образуемый падающим пучком (а также и дифрагирующим) с плоскостью кристалла, в которой происходит дифракция.

**Закон отражения рентгеновых лучей от серии плоских сеток:**

Рентгеновские лучи данной длины волны «отражаются» от данной грани (системы атомных сеток) кристалла под углами  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$ , отношение синусов которых равняется отношению простых целых чисел.

**Эффект Кóмптона (Кóмптон-эффект, кóмптоновское рассеяние)** – упругое рассеяние коротковолнового электромагнитного излучения (рентгеновского и  $\gamma$ -излучений) на свободных (или слабосвязанных) электронах вещества, сопровождающееся увеличением длины волны.

Величина  $\Delta = \frac{h}{m_0 c} = 0,024 \text{ \AA}$  называется **комптоновской длиной**

**волны электрона.**

**Дефектом массы** ядра  $\Delta$  называется величина, на которую уменьшается масса всех нуклонов при образовании из них атомного ядра (разность между суммарной массой всех нуклонов ядра в свободном состоянии и массой ядра):

$$\Delta \equiv m_p Z + m_n N - m_{\text{я}}, \quad (6.4.1)$$



где  $Z$  – число протонов,  $N = (A - Z)$  – число нейтронов.

**Удельной энергией связи** нуклонов в ядре называют энергию связи, приходящуюся на один нуклон ядра:

$$E_{\text{уд}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}. \quad (6.4.2)$$

Радиоактивный распад происходит в соответствии с **законом смещения (сдвига)**: радиоактивные процессы происходят в соответствии с законами сохранения энергии, электрического заряда и массового числа (количества нуклонов), т. е. сумма зарядов (массовых чисел) возникающих ядер и частиц равна заряду (массовому числу) исходного ядра.

Для  $\alpha$ -распада зависимость между периодом полураспада  $T_{1/2}$  и энергией  $E$  вылетающих частиц определяется эмпирическим **законом Гейгера–Нэттола**, который обычно выражают в виде зависимости между пробегом  $R_\alpha$  (расстоянием, проходимым частицей в веществе до её полной остановки)  $\alpha$ -частиц в воздухе и постоянной радиоактивного распада  $\lambda$ :

$$\ln \lambda = A + B \ln R_\alpha, \quad (6.4.3)$$

где  $A$  и  $B$  – эмпирические константы;  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ ;  $T_{1/2}$  – период полураспада.

**Закон радиоактивного распада в дифференциальной форме:**

$$-dN = \lambda N dt, \quad (6.4.4)$$

где  $dN$  – убыль ядер при радиоактивном распаде. Знак «минус» взят для того, чтобы можно было рассматривать  $dN$  как уменьшение числа нераспавшихся ядер  $N$ ,  $\lambda$  – **константа [скорости] радиоактивного распада** (зависит от свойств радиоактивного препарата), численно равная относительной убыли ядер в единицу времени:

$$\lambda = -\frac{dN}{N} \frac{1}{dt}, \quad (6.4.5)$$

т. е. это одновременно и вероятность распада ядра за секунду.

**Закон радиоактивного распада в интегральной форме**, согласно которому число нераспавшихся ядер убывает со временем по экспоненте:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (6.4.6)$$

где  $N_0$  – количество ядер в начальный момент времени ( $t = 0$ ),  $N$  – количество нераспавшихся атомов в момент времени  $t$ .

**Период (время) полураспада  $T_{1/2}$**  – промежуток времени, за который половина ядер радиоактивного вещества распадается:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0,693}{\lambda}. \quad (6.4.7)$$

**Среднее время жизни  $\tau$  радиоактивного ядра** – величина, обратная постоянной распада  $\lambda$ :

$$\tau = \frac{1}{\lambda}. \quad (6.4.8)$$

**Законы сохранения электрических зарядов и массовых чисел:** сумма зарядов (и сумма массовых чисел) ядер и частиц, вступающих в ядерную реакцию, равна сумме зарядов (и сумме массовых чисел) конечных продуктов (ядер и частиц) реакции.

**Эффективное сечение  $\sigma$  (рассеяния или поглощения):**

$$\sigma = \frac{dN}{n N dx}, \quad (6.5.1)$$

где  $N$  – число частиц, падающих за единицу времени на единицу площади поперечного сечения вещества, имеющего в единице объёма  $n$  ядер,  $dN$  – число этих частиц, вступающих в ядерную реакцию в слое толщиной  $dx$ . Эффективное сечение имеет размерность площади и характеризует вероятность того, что при падении пучка частиц на вещество произойдёт реакция.

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1.

Радиус первой борховской орбиты атома водорода равен  $0,53 \cdot 10^{-10}$  м. Масса электрона  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг. Определите: а) скорость вращения электрона на первой орбите в атоме водорода; б) период обращения электрона на этой орбите.

*Решение:*

$$v_n = \left( \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_n m} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{nh}{2\pi m r_n} \approx 2,19 \cdot 10^6 \text{ (м} \cdot \text{с}^{-1}\text{)}, \quad (1)$$

$$T_n = \frac{2\pi r_n}{v_n} = \frac{4\pi^2 m r_n^2}{nh} \approx 1,5 \cdot 10^{-16} \text{ (с)}. \quad (2)$$

*Ответ:* а)  $v_1 \approx 2,19 \cdot 10^6 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ; б)  $T_1 \approx 1,5 \cdot 10^{-16} \text{ с}$ .

Пример 2.

Неизвестная частица движется со скоростью, сравнимой со скоростью света в вакууме так, что кинетическая энергия частицы равна ее энергии покоя. Частица имеет длину волны де Бройля  $\lambda_D = 1,4$  пм. Определите: а) массу покоя частицы (какая это частица?); б) её энергию покоя; в) импульс.

*Решение:*

$$\lambda_D = \frac{h}{p} = \frac{hc_0}{\sqrt{(2E_0 + E_\epsilon)E_\epsilon}} = \frac{hc_0}{\sqrt{3}E_0} = \frac{h}{\sqrt{3}m_0c_0}, \quad (1)$$

$$m_0 = \frac{h}{\sqrt{3}\lambda_D c_0} \approx \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{3} \cdot 1,4 \cdot 10^{-12} \cdot 3 \cdot 10^8} \approx 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ (кг)}, \quad (2)$$

$$E_0 = m_0 c_0^2 = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \approx 8,19 \cdot 10^{-14} \text{ (Дж)} \approx 0,51 \text{ (МэВ)}, \quad (3)$$

$$p = \frac{h}{\lambda_D} = \sqrt{3}m_0c_0 \approx \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{1,4 \cdot 10^{-12}} \approx 4,7 \cdot 10^{-22} \text{ (Н} \cdot \text{с)}. \quad (4)$$

*Ответ:* а)  $m_0 \approx 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг (электрон); б)  $E_0 \approx 8,19 \cdot 10^{-14}$  Дж  $\approx 0,51$  МэВ;  
в)  $p \approx 4,7 \cdot 10^{-22}$  Н·с.

## ТАБЛИЦА ВАРИАНТОВ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ 6

Вариант	Номера задач								
0	601	605	611	615	620	628	632	655	670
1	601	602	612	616	621	627	633	641	671
2	603	609	613	617	622	628	634	642	622
3	604	609	614	618	623	629	635	643	673
4	603	605	615	619	624	630	636	644	674
5	606	610	611	616	625	631	637	645	665
6	603	607	612	617	620	626	632	646	666
7	608	609	613	618	621	627	633	647	667
8	601	609	614	619	622	628	634	654	668
9	604	610	613	619	623	629	635	661	669

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 6

### ФИЗИКА АТОМОВ И АТОМНЫХ ЯДЕР. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ. ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

601. Вычислите для атома водорода радиус первой боровской орбиты и скорость электрона на ней.

602. Определите по теории Бора частоту и период обращения электрона в атоме водорода для первой и второй орбит ( $n = 1, 2$ ).

603. Атом водорода поглощает излучение длиной волны  $4,34 \cdot 10^{-7}$  м. Электрон находился на второй орбите атома водорода. Найдите номер орбиты, на которую перешёл электрон.

604. Найдите наибольшую  $\lambda_{\max}$  и наименьшую  $\lambda_{\min}$  длины волн в первой инфракрасной серии водорода (серия Пашена).

605. Определите линейную скорость и полную энергию электрона, находящегося на первой боровской орбите в атоме водорода.

606. Электрон в атоме водорода может находиться на круговых орбитах радиусами  $0,5 \cdot 10^{-8}$  м и  $2 \cdot 10^{-10}$  м. Во сколько раз различаются угловые скорости и полные энергии электрона на этих орбитах?

607. Электрон в атоме водорода находится на втором энергетическом уровне. Определите кинетическую  $E_k$ , потенциальную  $E_n$  и полную  $E$  энергии электрона. Ответ выразите в электронвольтах.

608. Для однократной ионизации атома кислорода необходима энергия около 14 эВ, для двукратной – 49 эВ. Найдите минимальную частоту излучения, которая может вызвать однократную и двукратную ионизацию.

609. Невозбуждённый атом водорода поглощает квант излучения с длиной волны  $\lambda = 1215 \text{ \AA}$ . Вычислите по теории Бора радиус электронной орбиты возбуждённого атома водорода.

610. На дифракционную решётку падает нормально пучок света от газоразрядной трубки, наполненной атомарным водородом. Постоянная решётки  $5 \cdot 10^{-4}$  см. С какой орбиты должен перейти электрон на вторую орбиту, чтобы спектральную линию в спектре 5-го порядка можно было наблюдать под углом  $41^\circ$ ?

611. Сколько длин волн де Бройля уложится на третьей орбите однократно ионизированного возбуждённого атома гелия?

612. Электрон обладает кинетической энергией  $E_k = 0,51$  МэВ. Во сколько раз изменится длина волны де Бройля, если кинетическая энергия электрона возрастает вдвое?

613. С какой скоростью движется электрон и какая у него кинетическая энергия, если его дебройлевская длина волны численно равна комптоновской длине волны?

614. Определите длину волны де Бройля электрона и протона, прошедших одинаковую ускоряющую разность потенциалов  $U = 100$  В?

615. Электрон обладает кинетической энергией  $E_k = 100$  эВ. Определите величину дополнительной энергии  $\Delta E_k$ , которую необходимо сообщить электрону для того, чтобы дебройлевская длина волны уменьшилась вдвое.

616. Электрон движется по окружности радиусом  $0,5$  см в однородном магнитном поле с индукцией  $8$  мТл. Определите длину волны де Бройля электрона.

617. Кинетическая энергия протона в 2 раза меньше его энергии покоя. Чему равна дебройлевская длина волны протона?

618. Масса движущегося электрона в 2 раза больше его массы покоя. Вычислите дебройлевскую длину волны электрона.

619. Какую ускоряющую разность потенциалов  $U$  должен пройти электрон, чтобы длина волны де Бройля  $\lambda$  была равна: 1)  $1 \text{ \AA}$ ; 2)  $0,001 \text{ \AA}$ ?

620. Определите длину дебройлевской волны электрона, находящегося на второй орбите в атоме водорода.

621. Вычислить энергию ядерной реакции:  ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_4\text{Be}^7 + {}_0\text{n}^1$ . Освобождается или поглощается эта энергия?

622. Вычислите энергию ядерной реакции:  ${}_5\text{B}^{10} + {}_0\text{n}^1 \rightarrow {}_3\text{Li}^7 + {}_2\text{He}^4$ . Освобождается или поглощается эта энергия?

623. Вычислите энергию ядерной реакции:  ${}_5\text{B}^{11} + {}_1\text{H}^1 \rightarrow 3 {}_2\text{He}^4$ . Освобождается или поглощается эта энергия?

624. Вычислите энергию ядерной реакции:  ${}_8\text{O}^{16} + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_7\text{N}^{14} + {}_2\text{He}^4$ . Освобождается или поглощается эта энергия?

625. Вычислите энергию ядерной реакции:  ${}_7\text{N}^{14} + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_8\text{O}^{17} + {}_1\text{H}^1$ . Освобождается или поглощается эта энергия?

626. Вычислите энергию ядерной реакции:  ${}_7\text{N}^{14} + {}_0\text{n}^1 \rightarrow {}_1\text{H}^1 + {}_6\text{C}^{14}$ . Освобождается или поглощается энергия при этой реакции?

627. Какая энергия выделяется при термоядерной реакции:  ${}_1\text{H}^3 + {}_1\text{H}^2 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_0\text{n}^1$ ? Найдите, какая энергия выделяется при синтезе 0,4 г дейтерия и 0,6 г трития. Суммарную массу  ${}_1\text{H}^2$  и  ${}_1\text{H}^3$  округлите до 5 а.е.м.

628. Какую массу воды можно нагреть от  $0^\circ\text{C}$  до кипения, если использовать всё тепло, выделяющееся в реакции:  ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{p}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4$  при полном разложении 1 г лития?

629. Вычислите энергетический выход ядерной реакции:  ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4$ . Освобождается или поглощается энергия при этой реакции? Удельная энергия связи у ядра атома изотопа лития  $E_{\text{уд}}({}_3\text{Li}^7) = 5,6$  МэВ/нуклон, у гелия  $E_{\text{уд}}({}_2\text{He}^4) = 7,075$  МэВ/нуклон.

630. При захвате ядром  ${}_{92}\text{U}^{235}$  нейтрона происходит деление его на ядро стронция  ${}_{38}\text{Sr}^{94}$  и ядро ксенона  ${}_{54}\text{Xe}^{140}$ , выбрасывается 2-3 нейтрона и выделяется энергия. Напишите уравнение реакции. Какое количество энергии выделится при распаде одного ядра урана, если удельная энергия связи ядра изотопа урана  $E_{\text{уд}}({}_{92}\text{U}^{235}) = 7,59$  МэВ/нуклон, стронция и ксенона  $E_{\text{уд}}({}_{38}\text{Sr}^{94}) = E_{\text{уд}}({}_{54}\text{Xe}^{140}) = 8,6$  МэВ/нуклон?

631. Изотоп урана  ${}_{92}\text{U}^{238}$  массой 1 г излучает  $1,24 \cdot 10^4$   $\alpha$ -частиц в 1 с. Определите постоянную распада и период полураспада.

632. Найдите период полураспада радиоактивного препарата, если за сутки активность его уменьшилась в 8 раз.

633. Сколько процентов радиоактивных ядер кобальта останется через месяц, если его период полураспада равен 71 дню?

634. Имеется 4 г радиоактивного кобальта. Сколько граммов кобальта распадётся за 216 суток, если его период полураспада 72 суток?

635. Натрий  ${}_{11}\text{Na}^{23}$ , облучаемый дейтонами (ядрами дейтерия), превращается в радиоактивный изотоп натрия  ${}_{11}\text{Na}^{24}$  с периодом полураспада  $T_{1/2} = 15,5$  ч. Какая доля первоначального количества радиоактивного натрия останется через сутки, если прекратить облучение дейтонами?

636. В урановой руде на  $m_1 = 1$  кг урана  ${}_{92}\text{U}^{238}$  приходится  $m_2 = 0,32$  кг свинца  ${}_{82}\text{Pb}^{206}$ . Определите возраст  $t$  урановой руды, считая, что весь свинец является конечным продуктом распада уранового ряда. Период полураспада урана  ${}_{92}\text{U}^{238}$   $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$  лет.



637. Определите период полураспада радиоактивного полония  ${}_{84}\text{Po}^{210}$ , если 1 г этого изотопа образует в год  $89,5 \text{ см}^3$  гелия при нормальных условиях.

638. Удельное содержание изотопа  ${}_{6}\text{C}^{14}$ , усвоенного деревом при его росте, затем уменьшается вследствие  $\beta$ -распада. Определите возраст древних деревянных предметов, если известно, что количество нераспавшихся атомов радиоактивного углерода в них составляет 80 % от количества атомов этого углерода в свежесрубленном дереве. Период полураспада углерода 5570 лет.

639. Активность изотопа  $a$  углерода  ${}_{6}\text{C}^{14}$  в древних деревянных предметах составляет  $4/5$  активности  $a_0$  этого изотопа в свежесрубленных деревьях. Период полураспада  $T_{1/2}$  изотопа  ${}_{6}\text{C}^{14}$  равен 5570 годам. Определите возраст древних предметов.

640. Счётчик  $\beta$ -частиц, установленный вблизи препарата фосфора-32, при первом измерении регистрировал  $N_1 = 6400$  частиц в минуту, а через  $t = 10$  суток только  $N_2 = 4000$ . Определите период  $T_{1/2}$  полураспада фосфора-32.

641. Какова должна быть наименьшая энергия фотона, при которой возможно образование пары электрон-позитрон?

642. Неподвижный нейтральный  $\pi$ -мезон (квант ядерного поля), масса покоя которого равна  $2,4 \cdot 10^{-28}$  кг, распадаясь, превращается в 2 одинаковых кванта. Определите энергию каждого рожденного кванта. Ответ выразите в мегаэлектронвольтах и джоулях.

643. При аннигиляции электрона и позитрона возникает  $\gamma$ -излучение. Подсчитайте энергию образующихся фотонов.

644. Какое количество энергии выделится при аннигиляции протона и антипротона, если масса покоя протона равна  $1,673 \cdot 10^{-27}$  кг?

645. При аннигиляции нейтрона и антинейтрона образуется 2 одинаковых  $\pi$ -мезона (кванты ядерного поля). Определите энергию каждого  $\pi$ -мезона, если кинетическая энергия частиц до аннигиляции была ничтожно мала. Масса покоя нейтрона равна  $1,675 \cdot 10^{-27}$  кг. Ответ выразите в мегаэлектронвольтах и джоулях.

646. Какое количество энергии выделилось бы при полной аннигиляции 1 кг вещества и 1 кг антивещества, когда кинетическая энергия этих масс равна нулю?

647. При аннигиляции электрона и позитрона образуются два  $\gamma$ -фотона. Найдите энергию и длину волны каждого из фотонов, если

кинетическая энергия электрона и позитрона была много меньше их энергии покоя.

648. Из каких кварков состоит а) нейтрон, б) антинейтрон, в) протон?

649. Чему равна минимальная неопределённость координаты покоящегося электрона?

650. Вычислите минимальную неопределённость координаты покоящегося протона.

651. Кинетическая энергия электрона равна его энергии покоя. Чему равна при этом минимальная неопределённость координаты электрона?

652. Масса движущегося протона в 2 раза больше его массы покоя. Вычислите минимальную неопределённость координаты протона.

653. Определите отношение неопределённостей скорости электрона, если его координата установлена с точностью до  $10^{-5}$  м, и пылинки массой  $m = 10^{-12}$  кг, если её координата установлена с такой же точностью.

654. Скорость протона составляет  $(8,880 \pm 0,012) \cdot 10^5$  м/с. С какой максимальной точностью можно измерить его положение?

655. Электрон находится на возбуждённом уровне атома в течение  $10^{-8}$  с. Чему равна минимальная неопределённость (в электронвольтах) в энергии уровня? Чему равна эта неопределённость (в процентах) для первого возбуждённого уровня атома водорода?

656. Положение электрона можно измерить с точностью  $1,6 \cdot 10^{-8}$  м. С какой точностью можно определить его скорость?

657. Оцените минимальную энергию нейтрона в типичном ядре радиусом  $10^{-15}$  м.

658. Электронный пучок ускоряется в электронно-лучевой трубке разностью потенциалов  $U = 0,5$  кВ. Принимая, что неопределённость импульса  $\Delta p_x$  равна 0,1 % от его числового значения  $p_x$ , определите неопределённость координаты электрона. Являются ли в данных условиях электроны квантовой или классической частицей?

659. Частица находится в основном состоянии ( $n = 1$ ) в одномерном потенциальном ящике шириной  $l$  с абсолютно непроницаемыми стенками ( $0 < x < l$ ). Найдите вероятность пребывания частицы в областях:  $0 < x < l/3$  и  $l/3 < x < 2l/3$ .

660. Электрон находится в одномерном, бесконечно глубоком, прямоугольном потенциальном ящике шириной  $l$ . Вычислите

вероятность того, что электрон, находящийся в возбуждённом состоянии ( $n = 2$ ), будет находиться в средней трети ящика ( $l/3 < x < 2l/3$ ).

661. Электрон находится в одномерном, бесконечно глубоком, прямоугольном потенциальном ящике шириной  $l$ . Вычислите вероятность нахождения электрона на первом энергетическом уровне в интервале  $l/4$ , равноудалённом от стенок ящика.

662. Частица в потенциальном ящике шириной  $l$  находится в низшем возбуждённом состоянии. Определите вероятность нахождения частицы в интервале  $l/4$ , равноудалённом от стенок ящика.

663. Электрон в одномерном прямоугольном потенциальном ящике шириной  $l = 200$  пм с бесконечно высокими стенками находится в возбуждённом состоянии ( $n = 4$ ). Определите минимальную энергию электрона и вероятность обнаружения электрона в первой четверти ящика.

664. Частица в одномерном прямоугольном потенциальном ящике шириной  $l$  с бесконечно высокими стенками ( $0 < x < l$ ) находится в возбуждённом состоянии ( $n = 2$ ). Найдите вероятность обнаружения частицы в области  $3l/8 < x < 5l/8$ .

665. Вычислите толщину слоя половинного поглощения свинца для гамма-лучей, длина волны которых равна  $0,775$  пм.

666. Чему равна энергия гамма-фотонов, если при прохождении через слой железа толщиной  $3$  см интенсивность излучения ослабляется в  $3$  раза?

667. Во сколько раз изменится интенсивность излучения гамма-фотонов с энергией  $2$  МэВ при прохождении экрана, состоящего из двух плит: свинцовой толщиной  $2$  см и алюминиевой толщиной  $5$  см?

668. Рассчитать толщину защитного свинцового слоя, который ослабляет интенсивность излучения гамма-фотонов с энергией  $2$  МэВ в  $5$  раз?

669. Определите частоту излучения атомов водорода при переходе электрона со второй орбиты на первую.

670. Определите дебройлевскую длину волны электрона, кинетическая энергия которого  $E_k = 1,02$  МэВ.

671. Определите число  $N$  ядер, распадающихся в течение времени: 1)  $t_1 = 1$  сутки; 2)  $t_2 = 1$  год, в радиоактивном препарате церия  ${}_{58}\text{Ce}^{144}$  массой  $m = 2$  мг.

671. Из каждого миллиарда атомов препарата радиоактивного изотопа каждую секунду распадается 1600 атомов. Определите период  $T_{1/2}$  полураспада.

672. За один год начальное количество радиоактивного нуклида уменьшилось в 3 раза. Во сколько раз оно уменьшится за месяц?

673. За какое время распадётся  $\frac{1}{4}$  часть начального количества ядер радиоактивного нуклида, если период его полураспада 24 часа?

674. За 8 дней распалось 75 % начального количества радиоактивного нуклида. Определите период полураспада.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### 1. Основные физические постоянные (округлённые значения)

Величина	Обозначение	Значение
Нормальное ускорение свободного падения	$g$	9,81 м/с <sup>2</sup>
Газовая (универсальная) постоянная	$R$	8,314 Дж·К <sup>-1</sup> моль <sup>-1</sup>
Гравитационная постоянная	$G$	6,672·10 <sup>-11</sup> м <sup>3</sup> ·кг <sup>-1</sup> ·с <sup>-2</sup>
Масса покоя электрона	$m_e$	9,109·10 <sup>-31</sup> кг
Объём 1 моля газа при нормальных условиях	$V_0$	22,41·10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup> ·моль <sup>-1</sup>
Постоянная (число) Авогадро	$N_A$	6,022·10 <sup>23</sup> моль <sup>-1</sup>
Постоянная Больцмана	$k$	1,38·10 <sup>-23</sup> Дж·К <sup>-1</sup>
Постоянная Вина	$b$	2,9·10 <sup>-3</sup> м·К
Постоянная Планка	$h$	6,626·10 <sup>-34</sup> Дж·с
Постоянная Планка универсальная	$\hbar$	1,054·10 <sup>-34</sup> Дж·с
Постоянная Стефана–Больцмана	$\sigma$	5,67·10 <sup>-8</sup> Вт·м <sup>-2</sup> ·К <sup>-4</sup>
Скорость света в вакууме	$c_0$	3·10 <sup>8</sup> м·с <sup>-1</sup>
Температура, соответствующая 1 эВ	$T$	11 606 К
Электронвольт	эВ	1,6·10 <sup>-19</sup> Дж
Элементарный заряд (заряд протона)	$e$	1,6·10 <sup>-19</sup> Кл
Электрическая постоянная	$\epsilon_0$	8,85·10 <sup>-12</sup> Ф/м
Магнитная постоянная	$\mu_0$	4 $\pi$ ·10 <sup>-7</sup> Гн/м
Атомная единица массы	а.е.м.	1,66·10 <sup>-27</sup> кг
Радиус Бора	$a_0$	0,529·10 <sup>-10</sup> м

## 2. Плотность твёрдых тел

Твёрдое тело	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Твёрдое тело	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Алюминий	$2,7 \cdot 10^3$	Литий	$0,53 \cdot 10^3$
Барий	$3,5 \cdot 10^3$	Медь	$8,93 \cdot 10^3$
Ванадий	$6,02 \cdot 10^3$	Мрамор	$2,7 \cdot 10^3$
Висмут	$9,8 \cdot 10^3$	Никель	$8,9 \cdot 10^3$
Вольфрам	$19,3 \cdot 10^3$	Платина	$21,4 \cdot 10^3$
Гранит	$2,6 \cdot 10^3$	Плексиглас (оргстекло)	$1,2 \cdot 10^3$
Древесина сухая, сосна	$0,5 \cdot 10^3$	Пробка	$0,2 \cdot 10^3$
Железо, сталь	$7,88 \cdot 10^3$	Свинец	$11,3 \cdot 10^3$
Золото	$19,3 \cdot 10^3$	Серебро	$10,5 \cdot 10^3$
Каменная соль	$2,2 \cdot 10^3$	Стекло (оконное)	$2,5 \cdot 10^3$
Кобальт	$8,8 \cdot 10^3$	Цезий	$1,9 \cdot 10^3$
Латунь	$8,55 \cdot 10^3$	Цинк	$7,15 \cdot 10^3$

## 3. Плотность жидкостей

Жидкость	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Жидкость	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Бензин (20 °С)	$0,7 \cdot 10^3$	Нефть	$0,8 \cdot 10^3$
Вода при 4 °С	$1,0 \cdot 10^3$	Ртуть	$13,6 \cdot 10^3$
Глицерин	$1,26 \cdot 10^3$	Сероуглерод	$1,26 \cdot 10^3$
Молоко	$1,03 \cdot 10^3$	Спирт	$0,8 \cdot 10^3$

## 4. Плотность газов (при нормальных условиях)

Газ	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Газ	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Азот	1,25	Воздух	1,29
Аргон	1,78	Гелий	0,18
Водород	0,09	Кислород	1,43

### 5. Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей при 20 °С

Жидкость	Коэффициент, мН/м	Жидкость	Коэффициент, мН/м
Вода	73	Ртуть	500
Глицерин	62	Спирт	22
Мыльная вода	40		

### 6. Эффективный диаметр молекулы

Газ	Диаметр, м	Газ	Диаметр, м
Азот	$3,0 \cdot 10^{-10}$	Гелий	$1,9 \cdot 10^{-10}$
Водород	$2,3 \cdot 10^{-10}$	Кислород	$2,7 \cdot 10^{-10}$

### 7. Некоторые астрономические величины

Наименование	Значение	Наименование	Значение
Радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6$ м	Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1,49 \cdot 10^{11}$ м
Масса Земли	$5,98 \cdot 10^{24}$ кг		
Радиус Солнца	$6,95 \cdot 10^8$ м		
Масса Солнца	$1,98 \cdot 10^{30}$ кг	Расстояние от центра Земли до центра Луны	$3,84 \cdot 10^8$ м
Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6$ м		
Масса Луны	$7,33 \cdot 10^{22}$ кг		

### 8. Диэлектрическая проницаемость

Вещество	Проницаемость	Вещество	Проницаемость
Вода	81	Парафин	2
Масло трансформаторное	2,2	Стекло	7

### 9. Удельное сопротивление металлов

Металл	Удельное сопротивление, Ом·м	Металл	Удельное сопротивление, Ом·м
Железо	$9,8 \cdot 10^{-8}$	Нихром	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Медь	$1,7 \cdot 10^{-8}$	Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$

### 10. Подвижность ионов в газах, $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$

Газ	Положительные ионы	Отрицательные ионы
Азот	$1,27 \cdot 10^{-4}$	$1,81 \cdot 10^{-4}$
Водород	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
Воздух	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$

### 11. Показатель преломления

Вещество	Показатель	Вещество	Показатель
Алмаз	2,42	Глицерин	1,47
Вода	1,33	Стекло	1,5

### 12. Энергия ионизации

Вещество	$E_i$ , Дж	$E_i$ , эВ
Водород	$2,18 \cdot 10^{-18}$	13,6
Гелий	$3,94 \cdot 10^{-18}$	24,6
Литий	$1,21 \cdot 10^{-17}$	75,6
Ртуть	$1,66 \cdot 10^{-18}$	10,4



### 13. Работа выхода электронов

Металл	$A$ , Дж	$A$ , эВ
Калий	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3,4 \cdot 10^{-19}$	2,1
Серебро	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезий	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

### 14. Период полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ	Период полураспада	Изотоп	Символ	Период полураспада
Актиний	${}_{89}\text{Ac}^{225}$	10 сут.	Йод	${}_{53}\text{I}^{131}$	8 сут.
Кобальт	${}_{27}\text{Co}^{60}$	5,3 года	Стронций	${}_{38}\text{Sr}^{90}$	27 лет
Магний	${}_{12}\text{Mg}^{27}$	10 мин.	Фосфор	${}_{15}\text{P}^{32}$	14,3 сут.
Радий	${}_{88}\text{Ra}^{226}$	1620 лет	Церий	${}_{58}\text{Ce}^{144}$	285 сут.
Радон	${}_{86}\text{Rn}^{222}$	3,8 сут.	Кальций	${}_{20}\text{Ca}^{45}$	165 сут.

**15. Относительная атомная масса  $A$  (округлённые значения) и порядковый номер  $Z$  некоторых элементов**

Элемент	Символ	$A$	$Z$	Элемент	Символ	$A$	$Z$
Азот	N	14	7	Марганец	Mn	55	25
Алюминий	Al	27	13	Медь	Cu	64	29
Аргон	Ar	40	18	Молибден	Mo	96	42
Барий	Ba	137	56	Натрий	Na	23	11
Ванадий	V	60	23	Неон	Ne	20	10
Водород	H	1	1	Никель	Ni	59	28
Вольфрам	W	184	74	Олово	Sn	119	50
Гелий	He	4	2	Платина	Pt	195	78
Железо	Fe	56	26	Ртуть	Hg	201	80
Золото	Au	197	79	Сера	S	32	16
Калий	K	39	19	Серебро	Ag	108	47
Кальций	Ca	40	20	Уран	U	238	92
Кислород	O	16	8	Углерод	C	12	6
Магний	Mg	24	12	Хлор	Cl	35	17

**16. Масса покоя  $m_0$  и энергия покоя  $E_0$  некоторых частиц**

Частица	$m_0$		$E_0$	
	кг	а.е.м.	Дж	МэВ
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$11,5 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3 \cdot 10^{-10}$	1876
$\alpha$ -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	5,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
Нейтральный $\pi$ -мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2,16 \cdot 10^{-11}$	135

### 17. Массы атомов лёгких изотопов

Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.	Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.
Нейтрон	${}^0_0n^1$	1,00867	Бор	${}^5_5B^{10}$	10,01294
Водород	${}^1_1H^1$	1,00783		${}^5_5B^{11}$	11,0093
	${}^1_1H^2$	2,0141	Углерод	${}^6_6C^{12}$	12,0000
Гелий	${}^1_1H^3$	3,01605			${}^6_6C^{13}$
	${}^2_2He^3$	3,01603		${}^6_6C^{14}$	14,00324
	${}^2_2He^4$	4,0026	Азот	${}^7_7N^{14}$	14,00307
Литий	${}^3_3Li^6$	6,01513	Кислород	${}^8_8O^{16}$	15,99491
	${}^3_3Li^7$	7,01601			${}^8_8O^{17}$
Бериллий	${}^4_4Be^7$	7,01693			
	${}^4_4Be^9$	9,01219			

### 18. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка		Множителе	Приставка		Множителе
наименование	обозначение		наименование	обозначение	
экса	Э	$10^{18}$	деци	д	$10^{-1}$
пэта	П	$10^{15}$	санти	с	$10^{-2}$
тера	Т	$10^{12}$	милли	м	$10^{-3}$
гига	Г	$10^9$	микро	мк	$10^{-6}$
мега	М	$10^6$	нано	н	$10^{-9}$
кило	к	$10^3$	пико	п	$10^{-12}$
гекто	г	$10^2$	фемто	ф	$10^{-15}$
дека	да	$10^1$	атто	а	$10^{-18}$

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА 2 КУРСА ФЗО

### *Раздел 1. Электричество и магнетизм (Контрольная работа № 3)*

#### *Тема 1.1. Электростатика.*

Электрический заряд. Закон сохранения и инвариантности электрического заряда. Квантование заряда. Закон Кулона. Природа электрического поля. Напряжённость электрического поля. Принцип суперпозиции полей. Графическое изображение полей. Поток напряжённости, теорема Остроградского–Гаусса. Электростатические поля заряженных тел: бесконечно протяженной плоскости, плоского конденсатора, равномерно заряженного по объему шара, цилиндрического конденсатора. Циркуляция вектора напряжённости электростатического поля. Работа сил электрического поля по перемещению заряда. Потенциал, разность потенциалов. Эквипотенциальные поверхности. Связь напряжённости и потенциала.

Проводники в электрическом поле. Распределение зарядов на проводниках. Электрическое поле внутри проводника. Электростатическая защита. Электрическая ёмкость. Конденсаторы. Соединение конденсаторов в батарее.

Электрическое поле внутри диэлектрика. Поляризация диэлектриков и её типы. Вектор поляризации. Диэлектрическая восприимчивость и диэлектрическая проницаемость среды. Связанные заряды на границах диэлектрика. Вектор электрического смещения. Сегнетоэлектрики. Энергия заряженного проводника и конденсатора. Энергия электрического поля, объёмная плотность энергии.

#### *Тема 1.2. Постоянный ток.*

Теория Друде–Лоренца (классическая теория проводимости металлов). Вектор плотности тока. Законы Ома и Джоуля–Ленца в интегральной и дифференциальной форме. Закон Видемана–Франца. Затруднения классической теории проводимости. Законы Кирхгофа.

#### *Тема 1.3. Магнитное поле.*

Вектор магнитной индукции и вектор напряжённости магнитного поля. Закон Био–Савара–Лапласа. Принцип суперпозиции магнитных полей. Магнитное поле элемента проводника с током, прямого тока,

кругового тока. Вихревой характер магнитного поля. Закон полного тока. Магнитное поле соленоида и тороида.

Силовое действие магнитного поля на заряды и проводники с током. Взаимодействие токов. Магнитный поток. Контур с током в магнитном поле. Работа перемещения проводника с током и контура в магнитном поле. Движение заряженных частиц в магнитном поле Земли. Полярные сияния. Эффект Холла. Магнитные свойства вещества. Магнитный момент электронов и атомов. Типы магнетиков. Намагниченность. Магнитное поле в веществе. Ферромагнетики и их свойства. Домены. Магнитный гистерезис.

#### ***Тема 1.4. Электромагнитное поле.***

Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Вихревые токи. Самоиндукция. Индуктивность. Энергия и плотность энергии магнитного поля.

Основы теории Максвелла для электромагнитного поля. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Полная система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Электромагнитное поле.

### ***Раздел 2. Механические и электромагнитные колебания и волны (Контрольная работа № 4)***

#### ***Тема 2.1. Механические и электромагнитные колебания.***

Понятия о колебательных процессах. Механические и электрические колебания. Гармонические колебания и их характеристики. Дифференциальное уравнение гармонических колебаний. Гармонические осцилляторы: маятники, колебательный контур. Скорость и ускорение гармонического осциллятора. Энергия гармонических колебаний.

Сложение гармонических колебаний одинакового направления. Метод векторных диаграмм. Биения. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний. Фигуры Лиссажу.

Затухающие колебания. Дифференциальные уравнения колебаний при наличии силы трения, омического сопротивления. Коэффициент затухания, логарифмический декремент. Вынужденные колебания. Дифференциальное уравнение колебаний при наличии вынуждающей силы. Резонанс.

Переменный ток. Закон Ома для цепи переменного тока. Сопротивление цепи переменного тока. Мощность в цепи переменного тока. Векторные диаграммы тока и напряжений. Резонанс токов и напряжений.

### ***Тема 2.2. Упругие и электромагнитные волны.***

Понятие волновых процессов. Волны в упругой среде. Уравнение плоской волны и ее характеристики: длина волны, волновой вектор, скорость. Волновое уравнение. Энергия упругой волны. Плотность потока энергии волны (вектор Умова). Интенсивность волны.

Акустические (звуковые) волны. Характеристики звуковых волн. Эффект Доплера. Сложение упругих волн. Интерференция волн. Стоячие волны.

Электромагнитные волны. Волновое уравнение электромагнитной волны. Плоская электромагнитная волна, её свойства. Излучение и распространение электромагнитных волн. Энергия электромагнитных волн. Вектор Пойнтинга. Шкала электромагнитных волн. Эффект Доплера для электромагнитных волн. Красное смещение.

## ***Раздел 3. Волновая оптика. Основы квантовой физики (Контрольная работа № 5)***

### ***Тема 3.1 Волновая оптика.***

Интерференция света. Когерентность световых волн. Разность хода. Разность фаз. Опыт получения когерентных световых пучков. Интерференция света в тонких плёнках. Клин. Кольца Ньютона.

Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция на одной щели. Дифракционная решётка. Разрешающая способность оптических приборов. Дифракция на объемной решетке (формула Вульфа–Брегга).

Поляризация света. Естественный свет. Поляризованный свет. Поляризация при отражении. Закон Брюстера. Явление двойного лучепреломления. Закон Малюса.

Дисперсия света. Нормальная и аномальная дисперсия.

Поглощение света. Закон Бугера–Ламберта–Бера.

Рассеяние света.

Метод получения объёмного изображения предметов, основанный на явлении интерференции и дифракции света. Голография.

### ***Тема 3.2. Квантовая природа электромагнитного излучения.***

#### *Тепловое излучение*

Тепловое излучение, его характеристики. Закон Кирхгофа. Абсолютно «чёрное» тело. Законы теплового излучения абсолютно «чёрного» тела. Закон Стефана–Больцмана. Закон спектрального смещения Вина. УФ-катастрофа. Квантование излучения. Формула Планка.

#### *Квантовая природа электромагнитного излучения*

Квантовая природа света. Энергия, масса, импульс фотона. Давление света. Фотоэлектрический эффект, его законы. Эффект Комптона. Корпускулярно-волновой дуализм электромагнитного излучения.

Оптические квантовые генераторы (лазеры).

### ***Тема 3.3. Элементы квантовой механики.***

Корпускулярно-волновой дуализм материи. Волны де Бройля. Экспериментальное подтверждение волновой природы электронов. Опыты Девисона и Джермера. Эффект Вавилова–Черенкова.

Соотношение неопределённостей Гейзенберга для координат и импульса. Соотношение неопределённостей для энергии и времени.

Уравнение Шрёдингера. Движение свободной частицы. Волновая функция и её физический смысл. Частица в прямоугольной потенциальной яме (одномерный случай). Квантовый гармонический осциллятор. Туннельный эффект.

### ***Раздел 4. Физика атома. Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц (Контрольная работа № 6)***

#### ***Тема 4.1. Физика атома.***

Постулаты Бора. Экспериментальное подтверждение дискретности энергетических уровней. Опыт Франка и Герца. Модель атома водорода по Бору.

Строение атома. Квантово-механическое описание атома водорода. Квантовые числа. Спин электрона. Пространственное распределение электронной плотности в атоме водорода в различных состояниях. Энергетический и оптический спектры атома водорода.

Многоэлектронный атом. Эффект Зеемана. Заполнение электронных оболочек. Принцип Паули. Квантово-механическое

обоснование периодичности химических свойств элементов. Рентгеновское излучение. Молекулярные спектры.

***Тема 4.2. Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц.***

Состав ядра. Естественная радиоактивность. Энергия связи. Дефект массы. Капельная модель ядра. Закон радиоактивного смещения. Закон радиоактивного распада. Объяснение  $\alpha$ -излучения,  $\gamma$ -излучения. Поле ядерных сил.

Реакции превращения нуклонов. Открытие протона. Открытие нейтрона. Открытие нейтрино. Объяснение  $\beta$ -излучения.

Ядерные реакции синтеза. Ядерные реакции деления. Цепная реакция деления урана.

Элементарные частицы. Их классификация. Виды взаимодействия элементарных частиц. Космические лучи. Мезоны. Частицы и античастицы. Образование и уничтожение электронно-позитронных пар. Кварки и глюоны.



## ЛИТЕРАТУРА

### Задачники

1. *Волькенштейн В.С.* Сборник задач по общему курсу физики. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: 2006. – 328 с.
2. *Яковлева Т.Ю., Белов М.М., Скобликова А.Л., Бармасова А.М., Недзвецкая И.В., Бодунов Е.Н.* Контрольные работы № 3, 4, 5, 6 по дисциплине «Физика». Разделы «Электростатика. Постоянный ток», «Электромагнетизм. Электромагнитные колебания и волны», «Оптика. Квантовая природа света», «Физика атомов и атомных ядер. Элементарные частицы. Основы квантовой механики» – СПб.: РГГМУ, 2001. – 52 с.

### Учебники

3. *Трофимова Т.И.* Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – Изд. 9-е, перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 560 с. – ISBN 5-7695-1670-4.

### Справочник

4. *Нордлинг К., Остерман Дж.* Справочник по физике для учёного и инженера / Перевод с англ. и научное редактирование *А.В. Бармасова.* – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 528 с. – ISBN 978-5-9775-0312-9.

### Описания лабораторных работ

5. *Белов М.М., Косцов В.В., Яковлева Т.Ю., Хлябич П.П.* Лабораторный практикум по дисциплине «Физика». I и II курс заочного обучения. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2010. – 58 с.
6. *Бармасов А.В., Бармасова А.М., Дьяченко Н.В., Бахарева Н.П., Биненко В.И., Косцов В.В., Логинов А.В., Михтеева Е.Ю., Потапова И.А., Скобликова А.Л., Сыромятников В.Г., Хлябич П.П., Яковлева Т.Ю.* Лабораторный практикум по дисциплине Физика. Разделы: Оптика и Ядерная физика. Курс 1, 2. / Отв. ред. А.П. Бобровский. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2016. – 111 с.

## Методическая литература

7. Яковлева Т.Ю., Белов М.М., Скобликова А.Л., Бармасова А.М., Бобровский А.П. Учебно-методическое пособие по выполнению контрольных работ по дисциплине «Физика». Разделы «Электростатика. Постоянный ток», «Электромагнетизм. Электромагнитные колебания и волны», «Оптика. Квантовая природа света», «Физика атомов и атомных ядер. Элементарные частицы. Основы квантовой механики». – СПб.: РГГМУ, 2001.

## СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания	3
Теория: Физика атомов и атомных ядер. Элементарные частицы. Основы квантовой механики	6
Примеры решения задач	11
Таблица вариантов к контрольной работе 6	13
Контрольная работа 6: Физика атомов и атомных ядер. Элементарные частицы. Основы квантовой механики	14
Приложения	21
Рабочая программа 2 курса ФЗО	28
Литература	33

*Учебное издание*

Методические указания и  
контрольные работы № 6  
по дисциплине «Физика».

Раздел  
«Физика атомов и атомных ядер. Элементарные частицы.  
Основы квантовой механики»  
Курс 2

*Составители:*  
Татьяна Юрьевна Яковлева и др.

*Ответственный редактор*  
Анатолий Петрович Бобровский

Редактор  
*ЛР № 020309 от 30.12.96*

---

Подписано в печать 07.03.18. Формат 60×90 1/16.  
Гарнитура Times New Roman.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 2,25. Тираж 70 экз. Заказ № 652/4.  
РГТМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.

---