

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 № 5

по дисциплине

**«ФИЗИКА»**

Раздел

**«Оптика и квантовая физика»**

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 № 5 по дисциплине «Физика».** Раздел «Оптика и квантовая физика». – СПб.: Изд. РГГМУ, 2018. – 39 с.

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

*Ответственный редактор:* А.П. Бобровский.

Настоящее учебно-методическое пособие содержит методические указания и контрольную работу по разделу «Оптика и квантовая физика».

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 № 5 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.

## ОПТИКА И КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

**Поток излучения**  $\Phi_e$  – величина, равная отношению энергии  $W$  излучения ко времени  $t$ , за которое излучение произошло:

$$\Phi_e = \frac{W}{t}. \quad (5.1.1)$$

**Светимость**  $R$  – отношение светового потока, испускаемого светящейся поверхностью, к площади этой поверхности. Единица светимости в системе СИ – люмен на квадратный метр ( $\text{лм} \cdot \text{м}^{-2}$ ).

**Энергетическая светимость (излучательность)**  $R_e$  – величина, равная отношению потока излучения  $\Phi_e$ , испускаемого поверхностью, к площади  $S$  сечения, сквозь которое этот поток проходит:

$$R_e = \frac{\Phi_e}{S}, \quad (5.1.2)$$

т. е. представляет собой поверхностную плотность потока излучения. Единица энергетической светимости в системе СИ – ватт на квадратный метр ( $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ).

**Сила света**  $I$  – пространственная плотность светового потока, определяемая отношением светового потока к телесному углу, в пределах которого он распространяется. Полный телесный угол<sup>1</sup> вокруг точечного источника света равен  $4\pi$  стерadianов<sup>2</sup>, т. е. примерно 12,56 ср. Силу света измеряют в **канделах** (кд). 1 кд – это сила света в заданном направлении от источника, который испускает монохроматическое излучение с частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц и имеет интенсивность излучения в этом направлении  $1/653$  Вт на стерadian.

Энергетическая сила света  $I_e$  определяется с помощью понятия о **точечном источнике света** – источнике, размерами которого по сравнению с расстоянием до места наблюдения можно пренебречь. **Энергетическая сила света (сила излучения)**  $I_e$  – величина, равная

---

<sup>1</sup> **Телесный угол** – часть пространства, ограниченная некоторой конической поверхностью.

<sup>2</sup> **Стерadian** (ср) равен телесному углу с вершиной в центре сферы радиусом  $r$ , вырезающему на поверхности сферы, описанной вокруг вершины угла, площадку, площадь которой равна квадрату радиуса сферы.

отношению потока излучения  $\Phi_e$  источника к телесному углу  $\omega$ , в пределах которого это излучение распространяется:

$$I_e = \frac{\Phi_e}{\omega}. \quad (5.1.3)$$

Единица энергетической силы света в системе СИ – ватт на стерадиан ( $\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1}$ ).

**Яркость поверхности**  $B$  – отношение силы света, излучаемого в данном направлении, к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к данному направлению. Для равномерно яркой поверхности:

$$B = \frac{I}{S \cos \alpha}, \quad (5.1.4)$$

где  $B$  – яркость поверхности;  $I$  – сила света;  $\alpha$  – угол между перпендикуляром к поверхности и данным направлением;  $S$  – площадь светящейся поверхности.

**Энергетическая яркость (лучистость)**  $B_e$  – величина, равная отношению энергетической силы света  $I_e$  элемента излучающей поверхности к площади  $S$  проекции этого элемента на плоскость, перпендикулярную направлению наблюдения:

$$B_e = \frac{I_e}{S}. \quad (5.1.5)$$

Единица энергетической яркости в системе СИ – ватт на стерадиан-метр в квадрате ( $\text{Вт} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ).

**Освещённость**  $E$  – поверхностная плотность светового потока, падающего на освещаемую поверхность; определяется как отношение светового потока  $\Phi$  к площади поверхности  $S$ , на которой он распределяется:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (5.1.6)$$

Единицей освещённости в системе СИ является **люкс** (лк). 1 люкс – освещённость поверхности в  $1 \text{ м}^2$ , на которую равномерно падает световой поток в 1 люмен:  $1 \text{ лк} = 1 \text{ кд} \cdot \text{ср} \cdot \text{м}^{-2}$ .

**Энергетическая освещённость (облучённость)**  $E_e$  характеризует величину потока излучения, падающего на единицу освещаемой поверхности. Единица энергетической освещённости в системе СИ совпадает с единицей энергетической светимости ( $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ).

В оптических средах с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$  и магнитной проницаемостью  $\mu$  скорость света равна:

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon\mu}}, \quad (5.1.7)$$

где  $c_0$  – скорость света в вакууме.

Световое излучение характеризуется длиной волны  $\lambda$  (**длиной волны** называется путь, проходимый волной за время полного периода колебания):

$$\lambda = cT = c \frac{1}{\nu}, \quad (5.1.8)$$

где  $T$  – период колебаний световой волны;  $\nu$  – частота.

**Первый закон преломления света** на границе двух прозрачных сред (**закон Снелля**): при любом угле падения  $\alpha$  отношение  $\sin\alpha/\sin\beta$  ( $\beta$  – угол преломления) является величиной постоянной.

Угол преломления  $\beta$  зависит от  $\alpha$  по закону:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c_1}{c_2} = \sqrt{\frac{\varepsilon_2\mu_2}{\varepsilon_1\mu_1}} = n_{21}, \quad (5.1.9)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – скорости распространения волн в первой и второй среде соответственно;  $\varepsilon$  и  $\mu$  – соответственно электрическая и магнитная проницаемости среды;  $n_{21}$  – **показатель преломления** второй среды относительно первой.

**Абсолютный показатель преломления** среды – величина  $n$ , равная отношению скорости  $c_0$  электромагнитных волн в вакууме к их фазовой скорости  $c$  в среде:

$$n \equiv \frac{c_0}{c} = \sqrt{\varepsilon\mu}. \quad (5.1.10)$$



**Второй закон преломления света:** Луч падающий и луч преломлённый, а также перпендикуляр, проведённый через точку падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости.

**Первый закон отражения света** гласит, что угол отражения светового луча равен его углу падения. В соответствии со **вторым законом отражения света** луч падающий и луч отражённый, а также перпендикуляр, опущенный в точку падения, лежат в одной плоскости. Луч падающий и луч отражённый взаимнообратимы.

**Оптическая сила линзы  $D$ :**

$$D = \frac{1}{F}, \quad (5.1.11)$$

где  $F$  – фокусное расстояние.

**Дисперсия вещества  $D$ :**

$$D \equiv \frac{dn}{d\lambda}. \quad (5.1.12)$$

**Закон Бугёра–Ламберта:** Пучок монохроматического света интенсивностью  $I_0$ , пройдя через слой поглощающего вещества толщиной  $l$ , выходит ослабленным до интенсивности  $I$ , определяемой выражением:

$$I = I_0 e^{-k_\lambda l}, \quad (5.1.13)$$

где  $k_\lambda$  – показатель поглощения.

**Закон Ламберта:** Яркость рассеивающей свет поверхности одинакова во всех направлениях. Отсюда следует соотношение между силой света рассеивающей плоской поверхности по перпендикуляру к ней  $I_0$  и под углом  $\varphi$  ( $I_\varphi$ ):

$$I_\varphi = I_0 \cos\varphi. \quad (5.1.14)$$

Угол падения луча  $\theta_1$ , угол отражения  $\theta_2$  и угол преломления  $\theta_3$  связаны следующими уравнениями:

$$\theta_1 = \theta_2, \quad (5.2.1)$$

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_3. \quad (5.2.2)$$

Наименьший угол  $i_{\text{пр}}$  падения, при котором происходит полное внутреннее отражение, называется **предельным (критическим)** или **углом полного внутреннего отражения**:

$$i_{\text{пр}} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right), n_1 > n_2. \quad (5.2.3)$$

**Закон Брюстера:** Соотношение между показателем преломления  $n$  диэлектрика и таким углом падения  $\varphi_{\text{В}}$  (угол Брюстера) на него естественного (неполяризованного) света, при котором отражённый от поверхности диэлектрика свет полностью поляризован:  $\text{tg}\varphi_{\text{В}} = n$ , т. е. угол между отражённым и преломлённым лучами составляет  $90^\circ$ :

$$\varphi_{\text{В}} = \text{arctg}\left(\frac{n_2}{n_1}\right), n_1 < n_2. \quad (5.2.4)$$

Связь между **временем когерентности**  $t_c$  и **длиной когерентности**  $L_c$ :

$$L_c = t_c v, \quad (5.2.5)$$

где  $v$  – скорость распространения волны.

**Радиусом когерентности (длиной пространственной когерентности)**  $r_c$  называется максимальное поперечное направлению распространения волны расстояние, на котором возможно проявление интерференции:

$$r_c \sim \frac{\lambda}{\varphi}, \quad (5.2.6)$$

где  $\lambda$  – длина волны света;  $\varphi$  – угловой размер источника.

**Оптический путь (оптическая длина пути)** – произведение геометрической длины  $s$  пути световой волны в данной среде на показатель  $n$  преломления этой среды.

Величина  $\Delta = (n_2 s_2 - n_1 s_1)$  называется **оптической разностью хода**:

$$\delta = 2\pi v \frac{\Delta}{c_0} = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda_0}, \quad (5.2.7)$$

где  $\delta$  – разность фаз колебаний;  $\lambda_0$  – длина волны света в вакууме;  $\nu$  – частота ( $2\pi\nu = \omega$ );  $s$  – геометрическая длина пути световой волны.

**Условие интерференционных максимумов.** При оптической разности хода:

$$\Delta = 2m \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0, \text{ где } m = 0, 1, 2, \dots, \quad (5.2.8)$$

колебания в точке происходят с одинаковой фазой, т. е. наблюдается **интерференционный максимум**.

**Условие интерференционных минимумов.** Если оптическая разность хода:

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}, \text{ где } m = 0, 1, 2, \dots, \quad (5.2.9)$$

то колебания, возбуждаемые в точке обеими волнами, происходят в противофазе, т. е. наблюдается **интерференционный минимум**.

**Закон Малюса:**

$$E = E_0 \cos \varphi, \quad (5.3.1)$$

где  $E_0$  – амплитуда колебаний напряжённости электрического поля световой волны, падающей на анализатор.

**Закон Био** выражает пропорциональность угла вращения плоскости поляризации линейно поляризованного света, проходящего через слой некристаллического вещества, обладающего естественной оптической активностью, числу оптически активных молекул на пути светового луча. В случае твёрдых тел величина угла поворота плоскости поляризации для света, характеризующегося длиной волны  $\lambda$ , выражается формулой:

$$\beta_\lambda = [\beta]_\lambda l, \quad (5.3.2)$$

а для растворов:

$$\alpha_\lambda = [\alpha]_\lambda \gamma l, \quad (5.3.3)$$

где  $[\beta]_\lambda$  и  $[\alpha]_\lambda$  – удельные вращения, зависящие от природы вещества, температуры и длины волны  $\lambda$ ,  $l$  – толщина слоя, проходимого светом,  $\gamma$  – концентрация растворённого вещества.

### Эффект Фарадея:

$$\alpha = \nu H l, \quad (5.3.4)$$

где  $H$  – напряжённость магнитного поля,  $l$  – длина образца, полностью находящегося в поле и  $\nu$  – **постоянная Вердэ**.

**Формула Гельмгольца** для предела разрешения объектива микроскопа:

$$l_{\min} = \frac{0,61\lambda}{n \sin \alpha}, \quad (5.4.1)$$

где  $\lambda$  – длина волны;  $n$  – показатель преломления иммерсионной жидкости;  $\alpha$  – так называемый **апертурный угол**. Величина  $n \sin \alpha$  называется **числовой апертурой**.

Расстояние между соответствующими точками соседних щелей называется **периодом (постоянной) решётки**  $d$ :

$$d = a + b, \quad (5.4.2)$$

где  $a$  – ширина каждой щели;  $b$  – ширина непрозрачных промежутков.

Отношение квадратов синусов принимает значения  $N^2$  для направлений, удовлетворяющих условию (**условие максимумов**):

$$d \sin \varphi = \pm K \lambda, \quad K = 0, 1, 2, \dots, \quad (5.4.3)$$

где  $\varphi$  – **угол дифракции** (угол отклонения световых лучей от перпендикуляра к плоскости решётки);  $\lambda$  – длина волны падающего света. Лучи, идущие от отдельных щелей в этих направлениях, усиливают друг друга и интенсивность в соответствующей точке фокальной плоскости линзы, собирающей эти лучи, будет равна  $N^2 I \varphi$ . Максимумы, получающиеся в таких точках, называют **главными максимумами**. Число  $K$  называется **порядком главных максимумов**. При  $K = 0$  угол  $\varphi$  равен нулю и наблюдается максимум нулевого порядка, располагающийся в фокусе линзы. Ближайшие к нулевому максимуму возникают при  $K = \pm 1$  и называют **максимумами первого порядка** (и т.д.).

Интенсивность теплопередачи путём теплопроводности и конвекции пропорциональна температуре, а лучистый тепловой поток пропорционален четвёртой степени температуры, т. е. подчиняется **закону Стефана–Больцмана**:

$$q = \sigma S (T_1^4 - T_2^4), \quad (5.5.1)$$

где  $q$  – лучистый тепловой поток (в джоулях в секунду, т. е. в Вт);  $S$  – площадь поверхности излучающего тела (в  $\text{м}^2$ );  $T_1$  и  $T_2$  – температуры (в кельвинах) излучающего тела и окружения, поглощающего это излучение. Коэффициент  $\sigma$  называется **постоянной Стефана–Больцмана** и равен  $(5,67051 \pm 0,00019) \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ .

**Закон смещения Вина (формула Вина):**

$$\nu_{\max} = aT, \quad (5.5.2)$$

где  $\nu_{\max}$  – частота максимального излучения;  $a = 1,034 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$  – постоянная Вина;  $T$  – абсолютная температура.

Закон смещения Вина можно записать в виде:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (5.5.3)$$

где  $\lambda_{\max}$  – длина волны, при которой наблюдается максимальное излучение;  $T$  – абсолютная температура источника;  $b$  – **постоянная Вина**, чьё полученное из экспериментов значение, оказалось равным  $2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ .

**Закон излучения Рэлея–Джинса** – закон распределения энергии в спектре излучения абсолютно чёрного тела в зависимости от температуры:

$$u_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT, \quad (5.5.4)$$

где  $u_\nu$  – плотность излучения на частоте  $\nu$ .

**Закон излучения Планка (формула Планка)** – закон распределения энергии в спектре равновесного излучения при определённой температуре:

$$u_\nu d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} d\nu. \quad (5.5.5)$$

Согласно теории Эйнштейна, поглощение света происходит квантами. Энергия  $E$  фотона прямо пропорциональна его частоте  $\nu$ :

$$E = h\nu, \quad (5.5.6)$$

где  $h$  – постоянная Планка (квант действия).

Из закона сохранения энергии следует уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = \hbar\omega = e\varphi + \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad (\text{для одного электрона}), \quad (5.5.7)$$

где  $\hbar \equiv \frac{h}{2\pi}$  – универсальная постоянная Планка;  $\omega$  – циклическая частота падающего света;  $h\nu = \hbar\omega$  – энергия фотона (элементарная энергия электромагнитного излучения, пропорциональная частоте излучения);  $e\varphi = \Phi$  – работа выхода электрона из облучаемого вещества;  $\varphi$  – потенциал выхода;  $m$ ,  $e$  и  $v_{\max}$  – масса, заряд и максимальная скорость фотоэлектрона.

Длина волны  $\lambda_0$  красной границы фотоэффекта:

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} = \frac{hc}{\Phi}, \quad (5.5.8)$$

где  $c$  – скорость света.

## ТАБЛИЦА ВАРИАНТОВ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ 5

Вариант	Номера задач						
0	501	520	529	535	548	554	567
1	503	518	522	538	541	557	569
2	505	516	528	539	546	551	564
3	507	514	525	536	550	559	561
4	509	512	530	531	549	556	565
5	502	519	527	540	543	555	568
6	504	516	521	537	545	552	566
7	506	511	524	532	544	560	563
8	508	515	523	534	547	553	570
9	510	517	526	533	542	558	562

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 5

### ОПТИКА И КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

501. На тонкий стеклянный клин падает нормально пучок лучей с длиной волны  $\lambda = 600$  нм. Расстояние между соседними интерференционными полосами в отраженном свете  $b = 0,4$  мм. Определите угол  $\alpha$  между поверхностями клина.

502. В опыте Юнга на пути одного из интерференционных лучей помещена тонкая стеклянная пластинка, вследствие чего центральная световая полоса сместилась в положение, первоначально занятое пятой полосой (не считая центральной). Луч падает на пластинку перпендикулярно. Показатель преломления пластинки 1,5. Длина волны  $6 \cdot 10^{-7}$  м. Какова толщина пластинки?

503. На мыльную плёнку ( $n = 1,33$ ) падает белый свет под углом  $45^\circ$ . При какой наименьшей толщине плёнки отражённые лучи будут окрашены в жёлтый цвет ( $\lambda = 6 \cdot 10^{-5}$  см)?

504. На стеклянную пластинку положена выпуклой стороной плосковыпуклая линза. Сверху линза освещается монохроматическим светом длиной волны  $\lambda = 600$  нм. Найдите радиус  $R$  линзы, если радиус восьмого тёмного кольца Ньютона в отражённом свете  $r_8 = 2,4$  мм.

505. На стеклянный клин падает нормально пучок света с длиной волны  $\lambda = 5,82 \cdot 10^{-7}$  м. Угол клина равен  $20''$ . Какое число тёмных интерференционных полос приходится на единицу длины клина? Показатель преломления стекла  $n$  равен 1,5.

506. Плосковыпуклая линза с фокусным расстоянием  $f = 2$  м лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус пятого тёмного кольца Ньютона  $r_5 = 1,5$  мм. Определите длину световой волны  $\lambda$ .

507. На мыльную плёнку в направлении нормали к её поверхности падает монохроматический свет длиной волны  $\lambda = 600$  нм. Отражённый от плёнки свет максимально усилен вследствие интерференции. Определите минимальную толщину плёнки. Показатель преломления мыльной воды  $n = 1,30$ .

508. На стеклянную пластинку нанесён тонкий слой прозрачного вещества с показателем преломления  $n = 1,4$ . Пластинка освещается пучком параллельных лучей длиной волны  $\lambda = 540$  нм, падающих на пластинку нормально. Какую минимальную толщину должен иметь слой, чтобы отражённые лучи имели наименьшую яркость?



509. Расстояние между пятым и двадцать пятым светлыми кольцами Ньютона равно 9 мм. Радиус кривизны линзы  $R = 15$  м. Найдите длину волны  $\lambda$  монохроматического света, падающего нормально на установку. Наблюдение проводится в отражённом свете.

510. Найдите расстояние между третьим и шестнадцатым тёмными кольцами Ньютона, если расстояние между вторым и двадцатым тёмными кольцами равно 4,8 мм. Наблюдение проводится в отражённом свете.

511. Расстояние между штрихами дифракционной решётки  $b = 5$  мкм. На решётку падает нормально свет с длиной волны  $\lambda = 0,56$  мкм. Максимум какого наибольшего порядка  $k_{max}$  даёт эта решётка?

512. На дифракционную решётку падает нормально параллельный пучок лучей белого света. Спектры второго и третьего порядков частично накладываются друг на друга. На какую длину волны  $\lambda$  в спектре второго порядка накладывается фиолетовая граница ( $\lambda_{\phi} = 4000 \text{ \AA}$ ) спектра третьего порядка?

513. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновских лучей с длиной волны  $\lambda = 1,47 \text{ \AA}$ . Расстояние между атомными плоскостями кристалла  $d = 2,8 \text{ \AA}$ . Под каким углом  $\theta$  к плоскости грани наблюдается дифракционный максимум второго порядка?

514. На непрозрачную пластину с узкой щелью падает нормально плоская световая волна длиной волны  $\lambda = 500$  нм. Угол отклонения лучей, соответствующих первому дифракционному максимуму  $\varphi = 30^\circ$ . Определите ширину  $a$  щели.

515. На дифракционную решётку, содержащую  $n = 500$  штрихов на миллиметр, падает нормально белый свет. Спектр проецируется помещённой вблизи решётки линзой на экран. Определите длину спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана  $L = 4$  м. Границы видимого спектра:  $\lambda_{кр} = 780$  нм,  $\lambda_{\phi} = 400$  нм.

516. Какое наименьшее число штрихов должна содержать решётка, чтобы в спектре третьего порядка можно было видеть отдельно две жёлтые линии натрия с длинами волн  $\lambda_1 = 5890 \text{ \AA}$  и  $\lambda_2 = 5896 \text{ \AA}$ ? Какова длина такой решётки, если расстояние между штрихами  $b = 10$  мкм?

517. На щель шириной 2 мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ . Найдите углы, в направлении которых будут наблюдаться минимумы света.

518. На дифракционную решётку нормально падает пучок света от разрядной трубки. Чему должна быть равна постоянная дифракционной решётки, чтобы в направлении  $\varphi = 41^\circ$  совпадали максимумы двух линий:  $\lambda_1 = 6563 \text{ \AA}$  и  $\lambda_2 = 4102 \text{ \AA}$ ?

519. На дифракционную решётку нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию в спектре третьего порядка накладывается красная линия гелия ( $\lambda = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ ) спектра второго порядка?

520. На щель шириной  $2 \cdot 10^{-3} \text{ см}$  падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ . Найдите ширину изображения щели на экране, удалённой от щели на  $L = 1 \text{ м}$ . Шириной изображения считайте расстояние между первыми дифракционными минимумами, расположенными по обе стороны от главного максимума освещённости.

521. Угол падения луча на поверхность жидкости  $i_1 = 50^\circ$ . Отражённый луч максимально поляризован. Определите угол  $i_2$  преломления луча.

522. Определите угол полной поляризации при отражённом свете от стекла, показатель преломления которого равен 1,57. Чему равен угол между отражённым и преломлённым лучами?

523. Предельный угол полного внутреннего отражения для некоторого вещества равен  $45^\circ$ . Определите для этого вещества угол полной поляризации.

524. Луч света, идущий в стеклянном сосуде с водой, отражается от дна сосуда. При каком угле падения отражённый луч максимально поляризован?

525. Чему равен показатель преломления стекла, если при отражении от него света отражённый луч будет полностью поляризован при угле преломления  $30^\circ$ ?

526. Под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы его лучи, отражённые от поверхности озера, были бы наиболее полно поляризованы?

527. Пластинку кварца толщиной  $d_1 = 1,5 \text{ мм}$  поместили между параллельными призмами Николя, в результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на угол  $\varphi = 27^\circ$ . Какой наименьшей толщиной  $d$  следует взять пластинку, чтобы поле зрения поляриметра стало совершенно тёмным?

528. Луч света последовательно проходит через два николя, главные плоскости которых образуют между собой угол  $\varphi = 50^\circ$ . Принимая, что в каждом никеле теряется 10 % падающего света, найдите, во сколько раз луч, выходящий из второго николя, ослаблен по сравнению с лучом, падающим на первый николь.

529. Пучок плоскополяризованного света, длина волны которого в вакууме равна  $5890 \text{ \AA}$ , падает на пластинку исландского шпата перпендикулярно его оптической оси. Найдите длины волн обыкновенного и необыкновенного лучей в кристалле, если показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и для необыкновенного лучей равны соответственно  $n_0 = 1,66$  и  $n_e = 1,49$ .

530. Чему равен угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор, уменьшается в четыре раза? Поглощением света пренебрегите.

531. Мощность излучения абсолютно чёрного тела равна 34 кВт. Найдите температуру этого тела, если известно, что площадь его поверхности равна  $0,6 \text{ м}^2$ .

532. При нагревании абсолютно чёрного тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась от  $0,69$  до  $0,5 \text{ мкм}$ . Во сколько раз увеличилась при этом энергетическая светимость тела?

533. Найдите какое количество энергии с  $1 \text{ см}^2$  поверхности в одну секунду излучает абсолютно чёрное тело, если известно, что максимальная спектральная плотность его энергетической светимости приходится на длину волны в  $4840 \text{ \AA}$ .

534. Мощность излучения абсолютно чёрного тела равна 10 кВт. Найдите величину излучающей поверхности тела, если известно, что длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности его энергетической светимости, равна  $7 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ .

535. На какую длину волны приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно чёрного тела, имеющего температуру, равную температуре человеческого тела, т. е.  $t = 37^\circ \text{C}$ ?

536. Из смотрового окошечка печи излучается поток излучения  $\Phi = 2040 \text{ Дж/мин}$ . Определите температуру  $t$  печи, если площадь отверстия  $S = 6 \text{ см}^2$ ?

537. Абсолютно чёрное тело имеет температуру  $t_1 = 100$  °С. Какова будет температура  $t_2$  тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в четыре раза?

538. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно чёрного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра ( $\lambda_1 = 780$  нм) на фиолетовую ( $\lambda_2 = 390$  нм)?

539. Определите температуру  $T$  и энергетическую светимость  $R_e$  абсолютно чёрного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны  $\lambda = 400$  нм.

540. В потоке излучения абсолютно чёрного тела  $\Phi = 1$  кВт максимум энергии излучения приходится на длину волны  $\lambda = 1,45$  мкм. Определите площадь  $S$  излучающей поверхности.

541. Красная граница фотоэффекта для цезия  $\lambda_0 = 640$  нм. На цезий падают лучи с длиной волны  $\lambda = 2000$  Å. Найдите максимальную кинетическую энергию  $E_k$  фотоэлектронов в электронвольтах.

542. На металл падают рентгеновские лучи длиной волны  $\lambda = 40$  Å. Пренебрегая работой выхода, определите максимальную скорость  $v_{\max}$  фотоэлектронов.

543. Какова должна быть длина  $\lambda$  лучей, падающих на цинковую пластинку, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была  $v_{\max} = 1000$  км/с?

544. На поверхность лития падают лучи с длиной волны  $\lambda = 2500$  Å. Определите максимальную скорость  $v_{\max}$  фотоэлектронов.

545. На фотоэлемент с катодом из рубидия падают лучи с длиной волны  $\lambda = 1000$  Å. Найдите наименьшее значение задерживающей разности потенциалов  $U_{\min}$ , которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить эмиссию фотоэлектронов.

546. На поверхность металла падают монохроматические лучи с длиной волны  $\lambda = 1500$  Å. Красная граница фотоэффекта  $\lambda_0 = 2000$  Å. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?

547. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна  $\lambda_0 = 2750$  Å. Определите: 1) минимальное значение энергии фотона, вызывающего фотоэффект; 2) обратный потенциал  $U$  полностью задерживающий электроны, если на этот металл падает свет с длиной волны  $\lambda = 2000$  Å.

548. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна  $\lambda_0 = 2750 \text{ \AA}$ . Определите: 1) работу выхода  $\Phi$  электрона из этого металла; 2) максимальную скорость электронов, вырываемых из этого металла светом с длиной волны  $1800 \text{ \AA}$ ; 3) максимальную кинетическую энергию этих электронов.

549. Найдите частоту  $\nu$  света, вырывающего с поверхности металла электроны, полностью задерживающиеся обратным потенциалом в  $U = 3 \text{ В}$ . Фотоэффект у этого металла начинается при частоте падающего света  $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$ . Найдите работу выхода  $\Phi$  электрона из этого металла.

550. Кванты света с энергией  $\varepsilon = 4,9 \text{ эВ}$  вырывают фотоэлектроны из металла с работой выхода  $\Phi = 4,5 \text{ эВ}$ . Найдите максимальный импульс, передаваемый поверхности металла при вылете каждого электрона.

551. Определите максимальное изменение длины волны ( $\Delta\lambda_{\text{max}}$ ) при комптоновском рассеянии света на свободных электронах и свободных протонах.

552. Фотон с длиной волны  $\lambda_1 = 0,126 \text{ \AA}$  рассеялся на свободном электроне. Длина волны рассеянного фотона  $\lambda_2 = 0,150 \text{ \AA}$ . Определите угол  $\theta$  рассеяния.

553. Рентгеновские лучи ( $\lambda = 1 \text{ \AA}$ ) рассеиваются электронами, которые можно считать практически свободными. Определите максимальную длину волны рентгеновских лучей в рассеянном пучке.

554. В результате эффекта Комптона на свободных электронах, фотон с энергией  $\varepsilon_1 = 0,51 \text{ МэВ}$  был рассеян на угол  $\theta = 120^\circ$ . Определите энергию  $\varepsilon_2$  рассеянного фотона.

555. Фотон с энергией  $\varepsilon_1 = 1,02 \text{ МэВ}$  был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроне на угол  $\theta = 180^\circ$ . Определите кинетическую энергию  $E_k$  электрона отдачи.

556. Какая доля энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если рассеяние фотона происходит на угол  $\theta = 180^\circ$ ? Энергия фотона до рассеяния  $\varepsilon_1 = 0,255 \text{ МэВ}$ .

557. Фотон с импульсом  $p_1 = 0,2 \text{ МэВ/с}$  испытал комптоновское рассеяние на угол  $\theta = 90^\circ$  на электроне. Определите импульс  $p_2$  фотона после рассеяния.

558. Фотон с энергией до рассеяния  $\varepsilon_1 = 0,51 \text{ МэВ}$  при эффекте Комптона на свободном электроне (покоящемся) был рассеян на угол

$\theta = \pi$ . Определите импульс  $p$  (в единицах МэВ/с) и кинетическую энергию  $E_k$  электрона отдачи.

559. Определите угол  $\theta$ , на который был рассеян  $\gamma$ -квант с энергией  $\varepsilon_1 = 1,02$  МэВ при эффекте Комптона, если кинетическая энергия электрона отдачи  $E_k = 0,51$  МэВ.

560. Угол разлёта электрона отдачи и рассеянного фотона при эффекте Комптона составляет  $\beta = 90^\circ$ . Определите энергию  $\varepsilon_1$  падающего фотона, если кинетическая энергия электрона отдачи  $E_k = 0,255$  МэВ.

561. Русский астроном Ф.А. Бредихин объяснил форму кометных хвостов давлением солнечных лучей. Найдите: 1) световое давление световых лучей на абсолютно чёрное тело, помещённое на таком же расстоянии от Солнца, что и Земля; 2) какую массу должна иметь частица в кометном хвосте, помещённая на этом расстоянии, чтобы сила светового давления на неё уравновешивалась силой притяжения частицы Солнцем. Площадь частицы, отражающую все падающие на нее лучи, считайте равной  $0,5 \cdot 10^{-8}$  см<sup>2</sup>. Величину солнечной постоянной считайте равной  $8,21$  Дж/(мин·см<sup>2</sup>).

562. Найдите давление света на стенки электрической 100-ваттной лампы. Колба лампы представляет собой сферический сосуд радиусом 5 см. Стенки лампы отражают 4 % и пропускают 6 % падающего на них света. Считайте, что вся потребляемая мощность идёт на излучение.

563. На поверхность площадью  $100$  см<sup>2</sup> ежеминутно падает  $63$  Дж световой энергии. Найдите величину светового давления в случаях, когда поверхность: 1) полностью отражает все лучи; 2) полностью поглощает все падающие на неё лучи.

564. Монохроматический пучок света ( $\lambda = 4900$  Å), падая нормально на поверхность, производит давление на неё, равное  $5 \cdot 10^{-7}$  Н/м<sup>2</sup>. Сколько квантов света падает каждую секунду на единицу площади этой поверхности? Коэффициент отражения света  $\rho = 0,25$ .

565. Определите плотность потока излучения  $E_s$ , падающего на зеркальную поверхность перпендикулярно к ней, если давление, производимое излучением,  $p = 10$  мкН/м<sup>2</sup>.

566. На расстоянии  $r = 10$  м от точечного монохроматического источника длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм перпендикулярно падающим лучам расположена площадка площадью  $S = 10$  мм<sup>2</sup>. Мощность

источника 100 Вт. Определите число  $n$  фотонов, ежесекундно падающих на площадку.

567. Давление света, производимое на зеркальную поверхность,  $p = 1$  мН/м<sup>2</sup>. Определите концентрацию  $n$  фотонов вблизи поверхности, если длина волны падающего на поверхность света,  $\lambda = 0,6$  мкм.

568. На зеркальную поверхность площадью  $S = 4$  см<sup>2</sup> падает нормально поток излучения  $\Phi = 0,6$  Вт. Определите давление  $p$  и силу давления  $F$  света на эту поверхность.

569. Давление света длиной волны  $\lambda = 600$  нм, падающего нормально на чёрную поверхность,  $p = 10^{-9}$  Н/м<sup>2</sup>. Определите число  $n$  фотонов, падающих за время  $t = 1$  с на площадь  $S = 1$  см<sup>2</sup> этой поверхности.

570. Свет с длиной волны  $\lambda = 700$  нм нормально падает на зеркальную поверхность и производит давление на неё  $p = 10^{-7}$  Н/м<sup>2</sup>. Определите число фотонов  $n$ , падающих за время 1 с на площадь 1 см<sup>2</sup> этой поверхности.

## 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	$\varepsilon_0$	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	${}^0n^1$	1,00867	Бор	${}^5B^{10}$	10,01294
Водород	${}^1H^1$	1,00783		${}^5B^{11}$	11,0093
	${}^1H^2$	2,0141	Углерод	${}^6C^{12}$	12,0000
Гелий	${}^1H^3$	3,01605			${}^6C^{13}$
	${}^2He^3$	3,01603		${}^6C^{14}$	14,00324
	${}^2He^4$	4,0026	Азот	${}^7N^{14}$	14,00307
Литий	${}^3Li^6$	6,01513	Кислород	${}^8O^{16}$	15,99491
	${}^3Li^7$	7,01601			${}^8O^{17}$
Бериллий	${}^4Be^7$	7,01693			
	${}^4Be^9$	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 объёму 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. *Бобровский А.П., Яковлева Т.Ю., Хлябич П.П., Бармасов А.В., Фокин С.А.* Контрольная работа по дисциплине «Физика». Раздел «Тепловое излучение. Квантовая природа света» / Отв. редактор *А.П. Бобровский*. – СПб.: РГГМУ, 2005. – 22 с.
2. *Волькенштейн В.С.* Сборник задач по общему курсу физики. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: 2006. – 328 с.
3. *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

4. *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

5. *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

6. *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.

7. 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**

8. 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: Электростатика. Постоянный ток	6
Таблица вариантов к контрольной работе 5	15
Контрольная работа 5: Оптика и квантовая физика	16
Приложения	24
Рабочая программа 2 курса ФЗО	31
Литература	36

*Учебное издание*

Методические указания и  
контрольная работа № 5  
по дисциплине «Физика».

Раздел  
«Оптика и квантовая физика».  
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. 2,5. Тираж 70 экз. Заказ № 652/3.  
РГТМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.

---