

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра общей и технической физики**

# **ФИЗИКА**

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ. ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА**

*Методические указания к самостоятельной работе  
для студентов бакалавриата направлений 21.03.01,  
20.03.01, 13.03.01, 13.03.02, 27.03.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
**2020**

УДК 535.12 (14) (073)

**ФИЗИКА. Электромагнитные волны. Волновая и квантовая оптика:**  
Методические указания к самостоятельной работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *Н.Н. Смирнова*. СПб, 2020. 23 с.

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

В методических указаниях представлены: указания к работе с учебным материалом, рекомендации к решению и оформлению задач, основные формулы соответствующих разделов курса физики, примеры решения задач, справочные материалы, задачи для самостоятельного решения вычислительного и тестового характера.

Предназначены для студентов бакалавриата направлений 21.03.01 «Нефтегазовое дело», 20.03.01 «Техносферная безопасность», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 27.03.04 «Управление в технических системах», а также для практических занятий студентов, изучающих волновую и квантовую оптику в рамках учебной дисциплины «Физика», в соответствии с программами подготовки бакалавров и инженерно-технических направлений всех форм обучения.

Научный редактор доц. *В.В. Фицак*

Рецензент доц. *Н.И. Егорова* (СПБУ МЧС РФ)

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов – одна из форм образовательных технологий.

Неотъемлемая часть образовательного процесса - решение задач, сопровождающееся самостоятельным чтением учебной, учебно-методической и справочной литературы.

Через глубокое понимание студентами изучаемых явлений, понятий, принципов, физического смысла законов и физических величин легче достигается запоминание полученной информации, формируется умение выделить конкретное физическое содержание в прикладных физических задачах их будущей деятельности.

Решение задач из различных областей физики, предполагающее освоение сложного комплекса действий, и способствующее развитию познавательных и творческих способностей студентов – это надёжный способ углубления понимания физических теорий

При решении стандартных вычислительных задач студенты приобретают базовые навыки обращения с понятиями, законами и уравнениями. Переход к более сложным задачам требует углублённых знаний, методов и приложений соответствующего раздела физики.

Каждое тестовое задание требует выбора правильных ответов из нескольких предложенных. Студенту необходимо решить задачу и выполнить сравнение полученного ответа с ответом из предложенного перечня, не пытаясь его угадывать.

Чтобы выбрать правильный ответ необходимо знание точной формулировки закона, определения той или иной физической величины или определяющего соотношения для конкретного явления и процесса.

Самостоятельное решение заданий с выбором ответов, кроме формирования необходимых для выпускников вуза компетенций, способствует подготовке студентов к сдаче экзамена в тестовой форме.

В методическое пособие включены задачи различного уровня сложности. Их количество и степень трудности рассчитаны на прочное закрепление изучаемого программного материала.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ С УЧЕБНЫМ МАТЕРИАЛОМ

Для успешного решения задач необходимыми условиями являются: знание теории, единиц физических величин и их размерностей; умение построить идеализированную модель (явления, объекта, системы, условий в которых происходит процесс и т.д.); владение алгоритмами применения основных методов решений.

*Перед решением задач по волновой и квантовой оптике необходимо:*

- изучить основные понятия, законы и модели соответствующих разделов оптики;

- уметь использовать методы теоретических исследований в физике (физико-математический анализ, синтез, абстрагирование, идеализация, обобщение и ограничение, аналогия и др.), методы расчета и численной оценки величин, характерных для данных разделов.

*При этом следует:*

- изучать курс физики систематически в течение всего учебного процесса, так как в противном случае материал будет усвоен поверхностно;

- проработать лекционный материал и соответствующие разделы учебника, учебного пособия и методических указаний;

- ознакомиться и проработать задачи, представленные разобранными примерами в рекомендуемой учебной литературе;

- составить конспект, в который записывать законы и формулы, выражающие эти законы; определения основных физических понятий и сущность физических явлений;

- ответить на контрольные вопросы, предложенные в рекомендуемой учебно-методической литературе для самоконтроля правильности усвоения теоретического материала.

*При решении задач рекомендуется:*

- выписать отдельно величины данные в условии задачи и величины, которые необходимо определить;
- перевести числовые значения физических величин в международную систему единиц измерений (СИ);
- выполнить рисунок или начертить схему (если требуется для решения задачи), сопровождая их пояснениями;
- представить окончательный результат в общем виде, т.е. преобразовать выражение для определяемой величины так, чтобы в него входили лишь буквенные обозначения величин, заданных в условии задачи или введенных самостоятельно, а также необходимые физические константы;
- не производить промежуточных вычислений физических величин;
- выполнить проверку размерности, т.е. убедиться в правильности размерности искомой величины, подставив обозначения единиц измерения в окончательную формулу;
- подставить числовые значения, выраженные в единицах СИ, в окончательную формулу и произвести вычисления, используя при необходимости правила приближенных вычислений;
- записать отдельно после решения ответ задачи в общем виде и числовое значение искомой величины с обязательным указанием размерности.

### **3. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ**

#### ***Интерференция света***

Абсолютный показатель преломления среды

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

где  $c$  – величина скорости света в вакууме;  $v$  – величина скорости света в среде.

Оптическая длина пути световой волны

$$L = n\ell \text{ или } L = \int n dl,$$

где  $\ell$  – геометрическая длина пути световой волны в среде.

Оптическая разность хода двух световых волн

$$\Delta = L_1 - L_2.$$

Условие максимумов и минимумов интенсивности света для оптической разности хода при интерференции

$$\Delta_{\max} = \pm k\lambda_0, \quad \Delta_{\min} = \pm(2k+1)\frac{\lambda_0}{2} \quad (k=0, 1, 2, 3\dots),$$

где  $\lambda_0$  - длина волны в вакууме.

Связь разности фаз колебаний и оптической разности хода

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta.$$

Координаты максимумов интенсивности света на экране

$$x_m = \pm \frac{l}{d} \cdot m\lambda, \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

Координаты минимумов интенсивности света на экране

$$x_m = \pm(m + \frac{1}{2}) \cdot \frac{l}{d} \cdot \lambda, \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

Ширина интерференционной полосы – расстояние между центрами соседних максимумов (или минимумов) интенсивности света

$$\Delta x = \frac{\lambda l}{d}.$$

Оптическая разность хода световых волн, отраженных от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пластины или пленки

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda_0}{2},$$

где  $d$  – толщина пластинки,  $\alpha$  – угол падения.

Радиусы темных и светлых колец Ньютона в отраженном

свете (или светлых и темных в проходящем свете)

$$r_k = \sqrt{\kappa R \lambda}, \quad r_{\kappa} = \sqrt{(2\kappa - 1)R(\lambda / 2)},$$

где  $\kappa$  – номер кольца,  $R$  - радиус кривизны поверхности линзы.

### *Дифракция света*

Дифракция света на одной щели при нормальном падении лучей. Условие минимумов интенсивности света

$$b \sin \varphi = \pm \kappa \lambda \quad (\kappa = 1, 2, 3...),$$

где  $b$  – ширина щели,  $\varphi$  – угол дифракции,  $\kappa$  – номер соответствующего минимума.

Дифракция света на дифракционной решетке при нормальном падении лучей. Условие главных максимумов интенсивности

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda \quad (k = 0, 1, 2, 3...),$$

где  $d$  – период решетки,  $k$  – номер главного максимума,  $\varphi$  – угол между нормалью к поверхности решетки и направлением на соответствующий максимум.

Разрешающая способность спектрального прибора

$$R = \frac{\lambda}{\delta \lambda}.$$

Угловая дисперсия спектрального прибора

$$D_{\varphi} = \frac{d\varphi}{d\lambda}.$$

Разрешающая способность дифракционной решетки

$$R = \kappa N$$

Угловая дисперсия дифракционной решетки

$$D_{\varphi} = \frac{m}{d \cos \varphi}.$$

## **Поляризация света**

Степень поляризации света

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

где  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$  – максимальная и минимальная интенсивности частично поляризованного света, пропускаемого анализатором.

Закон Малюса.

$$I = I_0 \cos^2 \alpha,$$

где  $I_0$ ,  $I$  – интенсивности падающего на анализатор и прошедшего через него плоско-поляризованного света,  $\alpha$  – угол между плоскостью пропускания анализатора и направлением колебаний светового вектора.

Закон справедлив для плоско-поляризованного света.

Закон Брюстера

$$\operatorname{tg} \alpha_B = n_{12},$$

где  $\alpha_B$  – угол падения, при котором отраженная световая волна полностью поляризована,  $n_{12} = (n_2 / n_1)$  – относительный показатель преломления.

Угол поворота  $\varphi$  плоскости поляризации оптически активными веществами:

в твердых телах  $\varphi = \alpha d$ ,

где  $\alpha$  – постоянная вращения,  $d$  – длина пути света в веществе;

в чистых жидкостях  $\varphi = [\alpha] \rho d$ ,

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $[\alpha]$  – удельное вращение;

в растворах  $\varphi = [\alpha] C d$ , где  $C$  – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

## **Квантовая природа излучения.**

Энергетическая светимость источника светового излучения (закон Стефана-Больцмана)

$$R_T = \sigma T^4, \quad \sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3},$$

где  $T$  – абсолютная температура теплового излучателя;  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт м}^{-2} \text{ К}^{-4}$ .

Закон смещения Вина

$$\lambda_m = \frac{b}{T},$$

где  $\lambda_m$  – длина волны, соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости чёрного тела,  $b$  – постоянная Вина,  $b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м К}$ .

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{max}}$$

$$\text{или } \hbar\omega = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2} = h\nu_{\text{кр}} + eU_3,$$

где  $h\nu = \hbar\omega = \varepsilon$  – энергия фотона, падающего на поверхность металла;  $h$  – константа Планка;  $\nu$  – частота излучения;  $\omega$  – циклическая частота излучения;  $A_{\text{вых}}$  – работа выхода электрона из металла;  $E_{\text{max}}$  – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона;  $U_3$  – задерживающая разность потенциалов;  $\hbar$  – редуцированная константа Планка;  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ .

Красная граница фотоэффекта

$$\lambda_{\text{ед}} = \frac{hc}{A_{\text{аио}}} \text{ или } \nu_{\text{ед}} = \frac{A_{\text{аио}}}{h},$$

где  $\lambda_{\text{кр}}$ ,  $\nu_{\text{кр}}$  – максимальная длина волны и минимальная частота излучений, при которых еще возможен фотоэффект;  $c$  – скорость электромагнитного излучения в вакууме.

Энергия фотона

$$\varepsilon_{\phi} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \text{ или } \varepsilon_{\phi} = \hbar\omega.$$

Масса и импульс фотона

$$m_{\phi} = \frac{\varepsilon_{\phi}}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}, \quad p = m_{\phi}c = \frac{h}{\lambda}.$$

#### 4. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ЗАДАЧ

**Пример 1.** Пластинка кварца толщиной  $d_1 = 1$  мм, вырезанная перпендикулярно оптической оси кристалла, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света определенной длины волны на угол  $\varphi_1 = 20^\circ$ . Определить: какова должна быть толщина  $d_2$  кварцевой пластинки, помещенной между двумя параллельными николями, чтобы свет был полностью погашен.

<i>Дано</i>	<b>СИ</b>	<i>Решение</i>
$d_1 = 1$ мм	$1 \cdot 10^{-3}$ м	Угол поворота
$\varphi_1 = 20^\circ$		плоскости поляризации
$d_2 = ?$		кварцевой пластинкой
		определяется соотношением $\varphi = \alpha d$ .

Пользуясь этой формулой, выразим искомую толщину  $d_2$  пластинки

$$d_2 = \varphi_2 / \alpha,$$

где  $\varphi_2$  – угол поворота плоскости поляризации, при котором свет будет полностью погашен ( $\varphi_2 = 90^\circ$ ).

Постоянную вращения  $\alpha$  для кварца также найдем из формулы  $\varphi = \alpha d$ , подставив в нее заданные в условии задачи значения  $d_1$  и  $\varphi_1$ :

$$\alpha = \varphi_1 / d_1.$$

Подставив это выражение  $\alpha$  в формулу для  $d_2$ , получим

$$d_2 = (\varphi_2 / \varphi_1) \cdot d_1.$$

Проверка размерности

$$[d_2] = \frac{\text{град} \cdot \text{м}}{\text{град}} = \text{м}.$$

Вычисления

$$d_2 = \frac{90 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{20} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

*Ответ:* толщина кварцевой пластинки  $d_2 = 4,5 \cdot 10^{-3}$  м.

## 5. ЗАДАЧИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ХАРАКТЕРА

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

2. Свет прошел путь 20 см в сероуглероде. Какой путь пройдет он за то же время в стекле? Чему равна оптическая длина пути света в сероуглероде и в стекле?

3. Во сколько раз в опыте Юнга нужно изменить расстояние до экрана, чтобы 5-ая светлая полоса новой интерференционной картины оказалась на том же расстоянии от нулевой, что и 3-я в прежней картине?

4. На пути одного из лучей интерферометра Жамена поместили трубку длиной 10 см. При заполнении трубки хлором интерференционная картина сместилась на 131 полосу для длины волны 590 нм. Найти показатель преломления хлора.

5. На поверхности стекла находится пленка воды. На нее падает свет с длиной волны 680 нм под углом  $30^\circ$ . Найти скорость, с которой уменьшается толщина пленки из-за испарения, если интенсивность отраженного света меняется так, что промежуток времени между последовательными максимумами отражения равен 0,25 часа.

6. Угол падения света на поверхность пленки равен  $30^\circ$ . Найти минимальную толщину пленки воды, при которой свет с длиной волны 640 нм испытывает максимальное отражение, а свет с длиной волны 400 нм не отражается совсем.

7. На тонкую пленку с показателем преломления  $n = 1,48$  падает под углом  $60^\circ$  белый свет. При этом в отраженном свете она кажется оранжевой ( $\lambda = 0,625$  мкм). Каким будет казаться цвет пленки в отраженном свете, если угол зрения уменьшить в 2 раза?

**8.** Между стеклянной пластинкой и плосковыпуклой линзой налита жидкость. Найти показатель преломления жидкости, если радиус восьмого темного кольца в отраженном свете равен 6,5 мм. Длина волны света 0,7 мкм, радиус кривизны линзы 10 м.

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

**10.** Две плоско - выпуклые линзы с радиусом кривизны  $R = 1$  м сложены вплотную выпуклыми поверхностями. Определить радиус второго темного кольца, наблюдаемого в проходящем свете ( $\lambda = 660$  нм). Свет падает на поверхность верхней линзы нормально.

**11.** Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. Радиус кривизны линзы 15 м. Наблюдение ведется в проходящем свете. Расстояние между пятым и двадцать пятым темными кольцами равно 9 мм. Найти длину волны света.

**12.** В отраженном свете на установке Ньютона наблюдают третье темное кольцо ( $k=3$ ). Когда пространство между линзой и плоскопараллельной пластиной заполнили жидкостью, то тот же радиус стал иметь кольцо с номером ( $k+1$ ). Определить показатель преломления жидкости.

**13.** Угловая дисперсия дифракционной решетки для длины волны 668 нм в спектре первого порядка  $2,02 \cdot 10^5$  рад/м. Найти период дифракционной решетки.

**14.** Ширина дифракционной решетки 2 см. Линии спектра калия 404,4 нм и 404,7 нм разрешены в первом порядке? Определите постоянную дифракционной решетки.

**15.** Определите период дифракционной решётки, длиной 2 см, если разность длин волн, разрешаемая этой решёткой, для света с длиной волны 600 нм в спектре третьего порядка составляет 40 нм.

**16.** Две дифракционные решетки имеют одинаковую ширину  $l = 2$  мм, но разные периоды  $d_1 = 2$  мкм и  $d_2 = 4$  мкм. Определить их наибольшую разрешающую способность для длины волны 550 нм.

17. На дифракционную решетку длиной  $l = 15$  мм, содержащую  $N = 3000$  штрихов, падает нормально монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 550$  нм. Определите число наблюдаемых максимумов и угол, соответствующий последнему максимуму.

18. На щель шириной  $b = 0,1$  мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 500$  нм. Дифракционная картина наблюдается на удаленном экране, расположенном параллельно щели. Определить расстояние от щели до экрана, если ширина центрального максимума 1 см.

19. На щель шириной  $b = 0,1$  мм падает нормально параллельный пучок света от монохроматического источника ( $\lambda = 600$  нм). Определите ширину центрального максимума в дифракционной картине на экране, отстоящем от щели, на расстоянии  $L = 1$  м.

20. Плоская световая волна ( $\lambda = 500$  нм) падает нормально на диафрагму, с круглым отверстием диаметром  $d = 0,4$  см. На каком расстоянии от отверстия должна находиться точка наблюдения, чтобы отверстие открывало только одну зону Френеля?

21. Плоская световая волна ( $\lambda = 550$  нм) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием радиусом  $r = 0,70$  мм. Найдите расстояние между двумя наиболее удаленными от диафрагмы точками на оси отверстия, в которых наблюдаются минимумы интенсивности.

22. Плоская монохроматическая световая волна падает нормально на круглое отверстие в диафрагме; На расстоянии  $b = 9,0$  м от нее находится экран, где наблюдается дифракционная картина. Диаметр отверстия уменьшили в 3 раза. Найдите новое расстояние от экрана до диафрагмы, при котором число открытых зон Френеля останется прежним.

23. Естественный свет падает на систему из четырёх николей. Плоскость пропускания каждого из них повернута на угол  $30^\circ$  относительно плоскости пропускания предыдущего. Во сколько раз отличается интенсивность света на входе в систему от интенсивности на выходе?

24. Естественный свет интенсивностью  $I_0$  проходит через поляризатор и анализатор, угол между главными

плоскостями которых, составляет  $\alpha$ . После прохождения света через эту систему он падает на зеркало и, отразившись, проходит вновь через нее. Пренебрегая поглощением света, определите интенсивность  $I$  света после его обратного прохождения.

**25.** Свет представляет собой смесь естественного и плоско-поляризованного света. Определите степень поляризации  $P$  света, если интенсивность поляризованного света равна интенсивности естественного.

**26.** Определите степень поляризации частично поляризованного света, если амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в 3 раза больше амплитуды, соответствующей его минимальной интенсивности.

**27.** Интенсивность естественного света, прошедшего через два николя, уменьшилась в 8 раз. Пренебрегая поглощением света, определить угол между главными плоскостями николей.

**28.** Пучок естественного света падает на систему, состоящую из двух поляризационных призм, в каждой из которых на поглощение и отражение теряется 20% падающего на них света. Определить угол между главными плоскостями призм, если при прохождении через них света интенсивность уменьшилась в 4 раза.

**29.** Определить постоянную вращения кварца, если кварцевая пластинка толщиной  $4,02 \cdot 10^{-3}$  м, вырезанная перпендикулярно оптической оси и помещенная между николями с параллельными главными плоскостями, полностью затемняет поле зрения. а пластинки.

**30.** Между скрещенными николями поляриметра поместили трубку с сахарным раствором. Поле зрения при этом стало максимально светлым. Определить длину трубки, если концентрация сахара  $300 \text{ кг/м}^3$ , а его удельное вращение  $0,5 \text{ град м}^2/\text{кг}$ .

**31.** Кварцевую пластинку поместили между скрещенными николями. При какой наименьшей толщине  $d_{\min}$  кварцевой пластины поле зрения между николями будет

максимально просветлено? Постоянная вращения  $\alpha$  кварца равна 27 град/мм.

32. Определите, под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы лучи, отраженные от поверхности озера, были максимально поляризованы.

33. Естественный свет падает на стеклянный шар (рис.1). Найти угол  $\gamma$  между преломленным лучом и падающим лучом в точке А.

34. Предельный угол полного отражения для пучка света на границе кристалла каменной соли с воздухом равен  $40,5^\circ$ . Определите угол Брюстера при падении света из воздуха на поверхность этого кристалла.

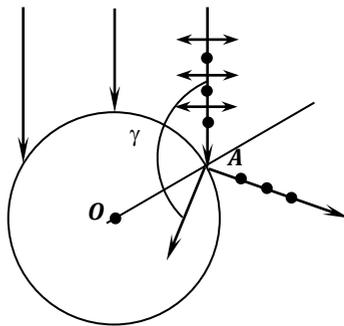


Рис.1

35. Определите показатель преломления стекла, если при отражении от него света отраженный луч полностью поляризован при угле преломления  $35^\circ$ .

36. Луч света, идущий в сосуде с серной кислотой, отражается от стеклянного дна. При каком угле падения отраженный луч полностью поляризован?

37. Абсолютно черное тело находится при температуре 3000 К. В результате остывания этого тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на 12 мкм. До какой температуры охладилось тело?

38. В результате охлаждения чёрного тела длина волны, отвечающая максимуму, сместилась с 0,8 мкм до 2,4 мкм. Определите, во сколько раз изменилась энергетическая светимость тела и максимальная спектральная плотность энергетической светимости.

39. Найти энергию фотона, импульс которого равен импульсу молекулы водорода при температуре  $40^\circ\text{C}$ . Скорость молекулы считать равной средней квадратичной скорости её теплового движения.

40. Определить длину волны фотона, масса которого

равна массе покоя электрона.

**41.** Определите длину волны фотона, импульс которого равен импульсу электрона, прошедшего разность потенциалов  $U = 9,8$  В.

**42.** С какой скоростью должен двигаться протон, чтобы его импульс был равен импульсу фотона, длина волны которого  $\lambda = 0,5$  мкм?

**43.** Найти длину волны света, которым освещается поверхность серебра, если фотоэффект исчезает при задерживающей разности потенциалов  $U_z = 0,3$  В.

**44.** Кванты света с энергией  $\varepsilon = 7,8 \cdot 10^{-19}$  Дж вырывают фотоэлектроны из никеля. Найти максимальный импульс, передаваемый поверхности металла при вылете электрона.

**45.** На поверхность лития падает монохроматический свет с длиной волны 400 нм. Определить энергию падающих фотонов, работу выхода электронов, красную границу фотоэффекта, кинетическую энергию электронов и их скорость.

**46.** Определите максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности металла, если фототок прекращается при приложении задерживающего напряжения  $U_0 = 3,7$  В.

**47.** Определите работу выхода электронов из вольфрама и красную границу фотоэффекта для него.

**48.** Калий освещается монохроматическим светом с длиной волны 400 нм. Определите наименьшее задерживающее напряжение, при котором фототок прекратится.

**49.** Серебряную пластинку освещают ультрафиолетовым светом с длиной волны 30 нм. Определить, на какое расстояние от пластинки может удалиться электрон, если вне пластинки имеется задерживающее однородное электрическое поле с напряженностью 10 В/см.

**50.** Плоский алюминиевый электрод освещается ультрафиолетовым светом с длиной волны  $\lambda = 83$  нм. На какое максимальное расстояние от поверхности электрода может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода имеется задерживающее электрическое поле напряженностью  $E = 7,5$  В/см?

## 6. ЗАДАНИЯ ТЕСТОВОГО ХАРАКТЕРА С ВЫБОРОМ ОТВЕТА

1. По сравнению с порогом однофотонного фотоэффекта красная граница многофотонного фотоэффекта ...

- 1) смещается в сторону более высоких частот.
- 2) смещается в сторону более длинных волн.
- 3) смещается в сторону более коротких волн.
- 4) не наблюдается.
- 5) одинакова для всех металлов.

2. На рисунке показана ориентация векторов напряженности электрического ( $\vec{E}$ ) и магнитного ( $\vec{H}$ ) полей в электромагнитной волне. Вектор плотности потока энергии электромагнитного поля  $\vec{S}$  ориентирован в направлении...

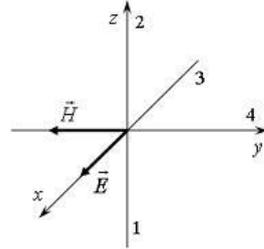


Рис. 2

- 1) 1.
- 2) 2.
- 3) 3.
- 4) 4.
- 5) не указанном в задании.

3. Плоская монохроматическая волна длиной  $\lambda$  падает на диафрагму с отверстием. Расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения на экране  $b$ . Радиус зоны Френеля с номером  $m$  определяется соотношением...

- 1)  $bm\lambda$ .
- 2)  $(bm\lambda)^2$ .
- 3)  $(bm\lambda)^3$ .
- 4)  $(bm\lambda)^{3/2}$ .
- 5)  $(bm\lambda)^{1/2}$ .

4. Фаза световой волны при отражении от пластинки с меньшим показателем преломления...

- 1) не изменится.
- 2) изменится на  $1/2\pi$
- 3) изменится на  $\pi$ .
- 4) уменьшится на  $3/2\pi$
- 5) изменяется на  $45^\circ$ .

5. Испускание телами электромагнитных волн, вызванное бомбардировкой их электронами называется...

- 1) электролюминесценцией.
- 2) хемиллюминесценцией.
- 3) катодолуминесценцией.
- 4) фотолуминесценцией.
- 5) тепловым излучением.

6. Уравнения плоской электромагнитной волны, распространяющейся в положительном направлении оси  $x$ , имеют

вид...

- 1)  $E_y = E_{0y} \cos(\omega t - kx)$ ;  $H_y = H_{0y} \cos(\omega t - kx)$ .
- 2)  $E_z = E_{0z} \cos(\omega t - kx)$ ;  $H_z = H_{0z} \cos(\omega t - kx)$ .
- 3)  $E_y = E_{0y} \cos(\omega t - kx)$ ;  $H_z = H_{0z} \cos(\omega t - kx)$ .
- 4)  $E_x = E_{0x} \cos(\omega t - kx)$ ;  $H_x = H_{0x} \cos(\omega t - kx)$ .
- 5)  $E_z = E_{0z} \cos(\omega t - kx)$ ;  $H_y = H_{0y} \cos(\omega t - kx)$ .

7. Свет от точечного источника  $S$  распространяется по прямой  $SB$ . На пути луча ставится непрозрачный круглый диск малого диаметра  $C$ , закрывающий три зоны Френеля. За диском  $C$  на экране в точке  $B$  наблюдается...

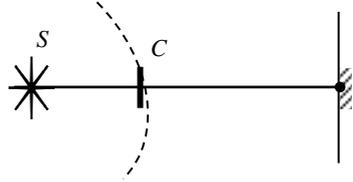


Рис. 3

- 1) область геометрической тени. 2) темное пятно.
- 3) светлое кольцо. 4) светлое пятно. 5) источник.

8. Как изменится ширина интерференционной полосы  $\Delta x$  и координата максимума интенсивности света  $x_{\max}$ , в наблюдаемой на экране интерференционной картине от двух цилиндрических когерентных световых волн, при увеличении расстояния от источников до экрана?

1.  $\Delta x$  – увеличивается,  $x_{\max}$  – уменьшается.
2.  $\Delta x$  – уменьшается,  $x_{\max}$  – увеличивается. 3. не изменяются
4.  $\Delta x$  и  $x_{\max}$  – увеличиваются. 5.  $\Delta x$  и  $x_{\max}$  – уменьшаются.

9. По закону Стефана-Больцмана спектральная плотность энергетической светимости абсолютно чёрного тела ...

- 1) равна нулю. 2) равна  $\infty$ . 3) постоянна.
- 4) пропорциональна  $T^4$ . 5) пропорциональна  $T^2$ .

10. Постоянная Вина  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ . Температура абсолютно черного тела  $T = 10^4 \text{ К}$ . Длина волны  $\lambda_{\max}$ , соответствующая максимальной спектральной плотности энергетической светимости равна...

- 1)  $35 \cdot 10^5 \text{ м}$ . 2)  $2,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ . 3)  $2,9 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ . 4)  $5,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ . 5)  $10^{-3} \text{ м}$

11. Энергетическая светимость абсолютно черного тела уменьшилась в 16 раз, при этом его термодинамическая температура уменьшилась в ....

- 1) 3 раза. 2) 6 раз. 3) 2 раза. 4) 16 раз. 5) 4 раза

12. Свет частично поляризован. Максимальная

интенсивность  $I_{\max}$  втрое превышает минимальную интенсивность  $I_{\min}$ . Степень поляризации частично поляризованного света равна...

- 1) 0,1. 2) 0,5. 3) 0,3. 4) 0,8. 5) 0,75.

**13.** Разложение света в спектр по значениям показателя преломления происходит ...

- 1) на одной щели. 2) на дифракционной решетке.  
3) в микроскопе. 4) в призме. 5) в поляризаторе.

**14.** Для внешнего фотоэффекта величина задерживающей разности потенциалов  $U$  равна 8 В, при этом максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона равна...

- 1) 16 эВ. 2)  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж. 3) 4 эВ. 4) 8 эВ. 5)  $6,4 \cdot 10^{-19}$  Дж

**15.** Электромагнитная волна падает на границу раздела двух сред с диэлектрическими проницаемостями  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ , как показано на рисунке 5. Между показателями преломления сред  $n_1$  и  $n_2$  и частотами колебаний в волне  $\nu_1$  и  $\nu_2$  справедливы соотношения:

- 1)  $n_1 < n_2$ ;  $\nu_1 < \nu_2$ .  
2)  $n_1 > n_2$ ;  $\nu_1 > \nu_2$ .  
3)  $n_1 > n_2$ ;  $\nu_1 < \nu_2$ . 4)  $n_1 < n_2$ ;  $\nu_1 = \nu_2$ . 5)  $n_1 > n_2$ ;  $\nu_1 = \nu_2$ .

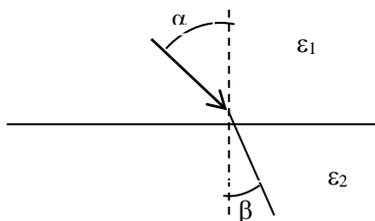


Рис. 4

**16.** Скорость фотоэлектронов при внешнем фотоэффекте зависит от...

- 1) числа квантов, падающих на поверхность.  
2) частоты падающего света. 3) освещенности поверхности.  
4) интенсивности падающего света. 5) размера установки.

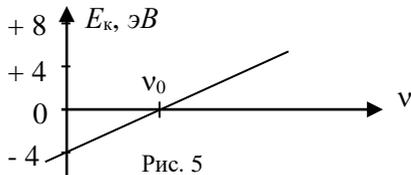
**17.** Разложение света в спектр по длинам волн происходит ...

- 1) на одной щели. 2) на дифракционной решетке.  
3) в микроскопе. 4) в призме. 5) в поляризаторе.

**18.** При выполнении критерия Рэля для разрешения двух линий с длинами волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  достаточно, чтобы “провал” между максимумами интенсивности составлял от интенсивности в максимуме...

- 1) 20%. 2) 30%. 3) 50%. 4) 80%. 5) 90%

19. На графике представлена зависимость максимальной кинетической энергии  $E_k$  фотоэлектронов от частоты падающих фотонов. Работа выхода равна...



- 1) 1 эВ. 2) -1 эВ. 3) 2 эВ. 4) -4 эВ. 5) 4 эВ.

20. Степень поляризации монохроматического света равна...

- 1) 0. 2) 1. 3) 0,5. 4) 2. 5) 0,1

## 7. СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

Таблица 1

Множители и приставки для образования десятичных и кратных единиц

Множитель	Приставка	
	Наименование	Обозначение
$10^6$	Мега	М
$10^3$	Кило	к
$10^{-2}$	Санتي	с
$10^{-3}$	Милли	м
$10^{-6}$	Микро	мк
$10^{-9}$	Нано	н
$10^{-12}$	Пико	п

Таблица 2.

Работа выхода электронов из металла

Металл	$A_{\text{вых}}, \text{эВ}$	$A_{\text{вых}}, 10^{-19} \text{ Дж}$
Вольфрам	4,5	7,2
Калий	2,2	3,5
Никель	4,5	7,2
Натрий	2,5	4,0
Платина	6,3	10,1
Серебро	4,7	7,5
Цинк	4,0	6,4

Таблица 3.

**Производные единицы СИ, имеющие наименование**

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	Выражение через основные единицы СИ
Частота	Герц	Гц	$c^{-1}$
Сила	Ньютон	Н	$м \cdot кг \cdot c^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	Джоуль	Дж	$м^2 \cdot кг \cdot c^{-2}$
Поток энергии, мощность	Ватт	Вт	$м^2 \cdot кг \cdot c^{-3}$
Электрический заряд	Кулон	Кл	А·с
Напряжение, потенциал	Вольт	В	$м^2 \cdot кг \cdot c^{-3} \cdot A^{-1}$
Световой поток	люмен	лм	кд·ср
Освещенность	люкс	лк	$м^{-2} \cdot кд \cdot ср$

Таблица 4

**Показатели преломления жидких и твердых относительно воздуха**

Вещество	Показатель преломления
Бензин	1,38-1,41
Вода	1,33
Глицерин, скипидар	1,47
Серная кислота	1,43
Спирт	1,362
Алмаз	2,42
Каменная соль	1,54
Кварц	1,54
Стекло	1,5 -1,75
Слюда	1,56 – 1,60

*Примечание.* Показатель преломления для жидкостей лежит в интервале от 1,2 до 1,9, для твердых тел — в интервале от 1,3 до 4,0.

## Основные физические постоянные

Физическая величина	Численное значение
Скорость света в вакууме	$c = 2,9979250(10) \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Больцмана	$k = 1,3807 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Элементарный заряд	$e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса электрона	$m_e = 0,911 \cdot 10^{-30}$ кг = 0,511 МэВ
Масса протона	$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27}$ кг
Постоянная Планка	$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К <sup>4</sup> )
Постоянная закона смещения Вина	$b = 0,29$ см·К

## 8. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

*Основная литература*

1. Иродов И.Е. Задачи по общей физике [Электронный ресурс]: учеб. пособие / И. Е. Иродов. - Москва: Лань, 2009. - 416 с.— 434 с. и пред. изд. (2007, 2004, 2003, 1988)

<https://e.lanbook.com/reader/book/99230/#1>

2. Савельев И.В. Курс физики: учеб. пособие: в 3 т. Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц [Электронный ресурс] /И.В. Савельев – Изд. 4-е, стер. - СПб. [и др.]: Лань, 2016. 308 с.и пред. изд. (2007,1989, 1987)

<https://e.lanbook.com/reader/book/98247/#1>

3. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы студентов размещённые на портале <https://ior.spmi.ru>

4. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие [Электронный ресурс]/ Т.И.Трофимова. - 21-е изд., стер. М.: Академия, 2015. 560 с. и пред. изд. (2008, 2007, 2004, 1997)

[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/components/com\\_irbis/pdf\\_view/](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/components/com_irbis/pdf_view/)

*Дополнительная литература*

5. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. М.: Наука, 1977.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	3
2. Методические указания к работе с учебным материалом.....	4
3. Основные формулы.....	5
4. Пример решения и оформления задач.....	10
5. Задачи вычислительного характера.....	11
6. Задания тестового характера с выбором ответа.....	17
7. Справочные таблицы.....	20
8. Библиографический список .....	22

**ФИЗИКА**  
**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ.**  
**ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА**

*Методические указания к самостоятельной работе  
для студентов бакалавриата направлений 21.03.01,  
20.03.01, 13.03.01, 13.03.02, 27.03.04*

Сост. *Н.Н. Смирнова*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
общей и технической физики

Ответственный за выпуск *Н.Н. Смирнова*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 17.03.2020. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,3. Усл.кр.-отт. 1,3. Уч.-изд.л. 1,1. Тираж 75 экз. Заказ 219. С 41.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2