

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

Кафедра общей и технической физики

ФИЗИКА

ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов бакалавриата направлений 18.03.01, 21.03.01*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021

УДК 535.12 (073)

ФИЗИКА. Волновая и квантовая оптика: Методические указания к самостоятельной работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *Н.Н. Смирнова, А.А.Страхова*. СПб, 2021. 25с.

Индивидуальные задания предназначены для направлений подготовки 18.03.01, 21.03.01 и разработаны в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования к уровню подготовки выпускников указанных квалификаций.

В методической разработке представлены: рекомендации к решению и оформлению задач, основные формулы разделов общего курса физики "Волновая оптика." и "Квантовая оптика", примеры решения задач, варианты индивидуальных заданий для самостоятельного решения и справочные материалы.

Методическая разработка может быть использована для самостоятельной работы студентов, изучающих волновую и квантовую оптику. в рамках учебной дисциплины "Физика", в соответствии с программами подготовки специалистов и бакалавров инженерно-технических направлений всех форм обучения.

Научный редактор доц. В.В. Фицак

Рецензент к.ф.-м.н . *Н.И. Егорова* (СПБУ МЧС РФ)

Введение

Самостоятельное решение задач, требующее использования учебной и учебно-методической литературы, информационно-справочных и поисковых систем – это неотъемлемая часть образовательных технологий.

При решении задач волновой и квантовой оптики различного уровня сложности необходимы знания методов и приложений соответствующих разделов физики.

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.

При решении стандартных вычислительных задач студенты приобретают базовые навыки обращения с понятиями, законами и уравнениями.

Каждое тестовое задание или задача требуют выбора правильных ответов из нескольких предложенных.

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

Если задание сформулировано в виде вычислительной задачи, студенту необходимо её решить и выполнить сравнение полученного ответа с ответом из предложенного перечня, не пытаясь его угадывать.

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 10 вариантов индивидуальных заданий с задачами различного уровня сложности. Их количество и степень трудности рассчитаны на прочное закрепление изучаемого программного материала.

1. Рекомендации к решению и оформлению задач

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;
- проработать лекционный материал и соответствующие разделы учебника, учебного пособия и методических указаний;
- ознакомиться и проработать задачи, представленные разобранными примерами в рекомендуемой учебной литературе;
- 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.

2. Элементы теории и основные формулы раздела «Волновая оптика».

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 ℓ – 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 λ_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, α – угол падения.

Радиусы темных и светлых колец Ньютона в отраженном свете (или светлых и темных в проходящем свете)

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

где κ – 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, φ – угол дифракции, κ – 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, φ – 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.

Закон справедлив для плоско-поляризованного света.

Интенсивность плоско-поляризованного света прошедшего через анализатор

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

где I_0 , – интенсивность плоско-поляризованного света, падающего на анализатор, α – угол между плоскостью пропускания анализатора и направлением колебаний светового вектора.

Закон Брюстера

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

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

Угол поворота φ плоскости поляризации оптически активными веществами:

$$\text{в твердых телах } \varphi = \alpha d ,$$

где α – постоянная вращения, d – длина пути света в веществе;

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

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

$$\text{в растворах } \varphi = [\alpha] C d ,$$

где C – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

3. Элементы теории и основные формулы раздела «Квантовая оптика»

Квантовая природа излучения.

Закон Кирхгофа

$$\frac{R_{\nu,T}}{A_{\nu,T}} = r_{\nu,T},$$

где $R_{\nu,T}$ – спектральная плотность энергетической светимости тела,

$A_{\nu,T}$ – спектральная поглощательная способность тела,

$r_{\nu,T}$ – спектральная плотность энергетической светимости черного тела.

Энергетическая светимость черного тела

$$R_e = \int_0^{\infty} r_{\nu,T} d\nu = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda,$$

где ν – частота, λ – длина волны.

Закон Стефана-Больцмана

$$R_e = \sigma T^4.$$

Постоянная Стефана-Больцмана

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

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

Энергетическая светимость серого тела

$$R_T^c = A_T R_e = A_T \sigma T^4,$$

где A_T – поглощательная способность серого тела.

Закон смещения Вина

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

где λ_m – длина волны, соответствующая максимальному значению

спектральной плотности энергетической светимости чёрного тела, b – постоянная Вина, $b = 2,90 \cdot 10^{-3}$ мК.

Формула Рэлея-Джинса

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT,$$

Формула Планка

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

где c – скорость распространения света в вакууме, kT – средняя энергия осциллятора с собственной частотой ν , k – постоянная Больцмана, h – постоянная Планка, $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж * с .

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; ν – частота излучения; ω – циклическая частота излучения; $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона из металла; E_{max} – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона; U_3 – задерживающая разность потенциалов; \hbar – редуцированная константа Планка, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.

Красная граница фотоэффекта

$$\lambda_{\text{кр}} = \frac{hc}{A_{\text{вых}}} \text{ или } \nu_{\text{кр}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h},$$

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

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

Давление, производимое света при нормальном падении на поверхность,

$$p = \frac{E_e}{c}(1 + \rho) = \varpi(1 + \rho),$$

где $E_e = Nh\nu$ – облучённость поверхности, ϖ – объёмная плотность энергии излучения, ρ – коэффициент отражения.

Изменение длины волны излучения при комптоновском рассеянии (эффект Комптона)

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta) = \frac{2h}{mc}\sin^2\frac{\theta}{2} = 2\lambda_C\sin^2\frac{\theta}{2},$$

где λ и λ' – длина волны падающего и рассеянного излучения, θ – угол рассеяния, m – масса электрона, λ_C – комптоновская длина волны $\lambda_C = 2,43\text{нм}$.

4. Примеры решения и варианты оформления задач

Пример 1. Фотон с энергией $\varepsilon = 1,025$ МэВ рассеялся на первоначально покоившемся свободно электроне. Определите угол рассеивания фотона, если длина волны рассеянного фотона оказалась равной комптоновской длине волны $\lambda_C = 2,43$ нм.

Дано:

$$\varepsilon = 1,025 \text{ МэВ} = 1,64 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

$$\lambda' = \lambda_C = 2,43 \text{ нм} = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

$\alpha - ?$

Решение

Энергия падающего фотона определяется по формуле

$$\varepsilon = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}, \text{ отсюда длина}$$

волны падающего фотона

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\varepsilon}.$$

Длина волны рассеянного фотона $\lambda' = \lambda + \lambda_C \cdot (1 - \cos \alpha)$.

По условию задачи $\lambda = \lambda_C$, следовательно

$$\lambda_C = \frac{h \cdot c}{\varepsilon} + \lambda_C \cdot (1 - \cos \alpha).$$

Отсюда

$$\cos \alpha = \frac{h \cdot c}{\lambda_C \cdot \varepsilon}$$

Угол рассеивания фотона $\alpha = \arccos\left(\frac{h \cdot c}{\lambda_C \cdot \varepsilon}\right)$.

Вычисление

$$\begin{aligned} \alpha &= \arccos\left(\frac{h \cdot c}{\lambda_C \cdot \varepsilon}\right) = \arccos\left(\frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2,43 \cdot 10^{-12} \cdot 1,64 \cdot 10^{-13}}\right) \\ &= \arccos(0,499) = 60 \text{ град.} \end{aligned}$$

Ответ: угол рассеивания фотона $\alpha = 60$ градусов.

Пример 2. Пластинка кварца толщиной $d_1 = 1 \text{ мм}$, 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.

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

Пользуясь этой формулой, выразим искомую толщину пластинки и постоянную вращения α для кварца, подставив в нее заданные в условии задачи значения

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

$$\alpha = \varphi_1 / d_1$$

где φ_2 – угол поворота плоскости поляризации, при котором свет будет полностью погашен ($\varphi_2 = 90^\circ$).

Подставив это выражение α 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

$$d_2 = (\varphi_2 / \varphi_1) \cdot d_1 = \frac{90 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{20} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

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

Пример 3. На идеально отражающую поверхность площадью $S=5 \text{ см}^2$ за время $t=3$ мин нормально падает монохроматический свет, энергия которого $W=9$ Дж. Определите: 1) облучённость поверхности; 2) световое давление, оказываемое на поверхность.

Решение

Дано:

$$\rho = 1$$

$$t = 3 \text{ мин} = 180 \text{ с}$$

$$S = 5 \text{ см}^2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$E_e = \frac{W}{S \cdot t},$$

$$p = \frac{E_e}{c} \cdot (1 + \rho) \Big|_{\rho=1} = \frac{2 \cdot E_e}{c}.$$

$$E_e = ?$$

$$p = ?$$

Ответ: $E_e = 100 \text{ Вт/м}^2, p = 667 \text{ нПа}$.

5. Варианты индивидуальных заданий вычислительного характера и заданий с выбором ответов для самостоятельного решения

Вариант 1

1. 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.

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

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

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

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

6. Фотон с длиной волны $\lambda = 5 \text{ пм}$ испытал комптоновское растяжение под углом $\alpha = 90^\circ$ на первоначально покоившемся

свободном электро́не. Определите: 1) изменение длины волны при рассеивании; 2) энергию электрона отдачи; 3) импульс электрона отдачи.

7. 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) одинакова для всех металлов.
- 5) не наблюдается.

Вариант 2

1. Угол падения света на поверхность плёнки равен 30° . 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.

2. 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.

3. 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.

4. На систему из четырёх николей падает естественный свет. Плоскость пропускания каждого из них повернута на угол 30° относительно плоскости пропускания предыдущего. Во сколько раз отличается интенсивность света на входе в систему от интенсивности на выходе?

5. 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.

6. Фотон с энергией $\varepsilon = 0,25$ МэВ рассеялся на первоначально покоившемся свободном электро́не. Определите кинетическую энергию электрона отдачи, если длина волны рассеянного фотона изменилась на 20%.

7. Степень поляризации монохроматического света равна...

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

Вариант 3

1. 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 тёмными кольцами равно 9 мм. Найти длину волны света.

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

3. 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.

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

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

6. Давление монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$ нм на зачернённую поверхность, расположенную перпендикулярно падающим лучам, равно $0,12$ мкПа. Определите число фотонов, падающих ежесекундно на 1 м² поверхности.

7. Энергетическая светимость R абсолютно черного тела уменьшилась в 16 раз, при этом термодинамическая температура уменьшилась и отношение (T_1/T_2) равно:

- 1). 2. 2). 3. 3). 4. 4). 8. 5). 16.

Вариант 4

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

2. 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.

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

4. Найти длину волны света, которым освещается поверхность серебра, если фотоэффект исчезает при задерживающей разности потенциалов $U_3 = 0,3$ В.

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

6. Площадь, ограниченная графиком спектральной плотности энергетической светимости $r_{\lambda,T}$ черного тела при переходе от T_1 к T_2 увеличилась в 5 раз. Во сколько раз при этом изменилась энергетическая светимость черного тела?

7. При выполнении критерия Рэлея для разрешения двух линий с длинами волн λ_1 и λ_2 достаточно, чтобы “провал” между максимумами интенсивности составлял от интенсивности в максимуме...

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

Вариант 5

1. На тонкую пленку с показателем преломления $n = 1,48$ падает под углом 60° 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?

2. Определите период дифракционной решетки, длиной 2 см, если разность длин волн, разрешаемая этой решеткой, для света с длиной волны 600 нм в спектре третьего порядка составляет 40 пм.

3. Между скрещенными николями поляриметра поместили трубку с сахарным раствором. Поле зрения при этом стало максимально светлым. Определить длину трубки, если концентрация сахара 300 кг/м³, а удельное вращение $0,5$ град м²/кг.

4. Естественный свет интенсивностью I_0 проходит через поляризатор и анализатор, угол между главными плоскостями которых, составляет α . 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.

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

6. Определите, как и во сколько раз изменится мощность излучения черного тела, если длина волны, соответствующая максимуму его спектральной плотности энергетической светимости, сместилась с $\lambda_1 = 720$ нм до $\lambda_2 = 400$ нм.

7. 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.

Вариант 6

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. Используя формулу Планка, выражающую спектральную плотность энергетической светимости чёрного тела в переменной ν и T , докажите, что при $h\nu \ll kT$ она совпадает с формулой Рэлея – Джинса.

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

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

Вариант 7

1. 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.

2. Плоская световая волна с длиной волны 0,6 мкм падает нормально на диафрагму с круглым отверстием диаметром 1 см. Определить расстояние от точки наблюдения до отверстия, если отверстие открывает: 1) две зоны Френеля; 2) три зоны Френеля.

3. Кварцевую пластинку поместили между скрещенными николями. При какой наименьшей толщине d_{\min} кварцевой пластины поле зрения между николями будет максимально просветлено? Постоянная вращения α кварца равна 27 град/мм.

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

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

6. Три стеклянных одинаковых по размерам кубика нагреты до одной температуры. Первый – прозрачный, второй – зеленого цвета, третий – черный. Какой из кубиков быстрее охладится до комнатной температуры?

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

1) равна нулю. 2) равна ∞ . 3) постоянна.

4) пропорциональна T^4 . 5) пропорциональна T^2 .

Вариант 8

1. На поверхности стекла находится пленка воды. На нее падает свет с длиной волны 680 нм под углом 30° . 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.

2. 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.

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

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

5. 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?

6. Найти энергию фотона, импульс которого равен импульсу молекулы водорода при температуре 40°C . Скорость молекулы считать равной средней квадратичной скорости её теплового движения.

7. Как изменится ширина интерференционной полосы Δx 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. Δx – увеличивается, x_{\max} – уменьшается.
2. Δx – уменьшается, x_{\max} – увеличивается.
3. не изменяются
4. Δx и x_{\max} – увеличиваются.
5. Δx и x_{\max} – уменьшаются.

Вариант 9

1. 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

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

3. Определите красную границу фотоэффекта и работу выхода электронов из вольфрама.

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

5. 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.

6. Преобразуйте формулу Планка, выражающую спектральную плотность энергетической светимости чёрного тела в переменных ν и T , перейдя к переменным λ и T .

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

- 1) не изменится.
- 2) изменится на $1/2 \cdot \pi$
- 3) изменится на π .
- 4) уменьшится на $3/2 \pi$
- 5) изменяется на 45° .

Вариант 10

1. В шахтном интерферометре на пути световых лучей

способных интерферировать помещены две одинаковые трубки с чистым воздухом длиной по 60 мм. При заполнении одной из них исследуемым шахтным воздухом, содержащим метан, интерференционная картина сместилась вдоль шкалы на две полосы. Определите показатель преломления шахтного воздуха, если показатель преломления чистого воздуха $n_v = 1,000292$, а наблюдение производится в монохроматическом свете с длиной волны 600·нм.

2. 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?

3. На систему из N николей падает естественный свет. Плоскость пропускания каждого из них повернута на угол 30^0 относительно плоскости пропускания предыдущего. Во сколько раз отличается интенсивность света на входе в систему от интенсивности на выходе?

4. 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?

5. Определить длину волны фотона, масса которого равна массе покоя электрона.

6. Используя формулу Планка, выражающую спектральную плотность энергетической светимости чёрного тела в переменных ν и T , выведите из неё закон Стефана – Больцмана.

7. Плоская монохроматическая волна длиной λ падает на диафрагму с отверстием. Расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения на экране b . Радиус зоны Френеля с номером m определяется соотношением:

$$1. b m \lambda. \quad 2. (b m \lambda)^2. \quad 3. (b m \lambda)^3. \quad 4. (b m \lambda)^{\frac{3}{2}}. \quad 5. (b m \lambda)^{\frac{1}{2}}.$$

6. 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	$A_{\text{вых}}$, эВ	$A_{\text{вых}}$, 10^{-19} 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	с^{-1}
Сила	Ньютон	Н	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	Джоуль	Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Поток энергии, мощность	Ватт	Вт	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Электрический заряд	Кулон	Кл	$\text{А} \cdot \text{с}$
Напряжение, потенциал	Вольт	В	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Световой поток	люмен	лм	кд·ср
Освещенность	люкс	лк	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кд} \cdot \text{ср}$

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.

Таблица 5

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 ² ·К ⁴)
Постоянная закона смещения Вина	$b = 0,29$ см·К

7. Рекомендательный 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/

Дополнительная литература

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

Содержание

Введение.....	3
1. Рекомендации к решению и оформлению задач.....	4
2. Элементы теории и основные формулы раздела "Волновая оптика".....	5
3. Элементы теории и основные формулы раздела "Квантовая оптика".....	9
4. Пример решения и варианты оформления задач.....	11
5. Варианты индивидуальных заданий вычислительного характера и заданий с выбором ответов для самостоятельного решения.....	14
6. Справочные таблицы.....	23
7. Рекомендательный библиографический список	25

ФИЗИКА
ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов бакалавриата направлений 18.03.01, 21.03.01*

Сост.: *Н.Н. Смирнова, А.А. Страхова*

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 17.05.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,5. Усл.кр.-отт. 1,5. Уч.-изд.л. 1,3. Тираж 75 экз. Заказ 416.

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