

**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 ОПТИКА**

*Методические указания к самостоятельной работе  
для студентов всех специальностей  
и направлений бакалавриата*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
**2019**

УДК 536.7 (073)

**ФИЗИКА. Волновая оптика:** Методические указания к самостоятельной работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *В.В. Фицак, А.А. Стрехова*. СПб, 2019. 35 с.

Методические указания содержат 25 вариантов по 7 заданий в каждом. Варианты заданий разработаны в соответствии с требованиями к уровню подготовки бакалавров и специалистов всех направлений и форм обучения.

Индивидуальные задания также могут быть использованы преподавателями для промежуточного контроля знаний студентов и для самостоятельной работы студентов других инженерно-технических специальностей.

Научный редактор проф. *А.С. Мустафаев*

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

## **Введение**

В процессе обучения в вузе самостоятельная работа студентов является одной из форм образовательных технологий. Она способствует формированию у студентов комплекса компетенций, таких как: способность к познавательной и творческой деятельности; способность использовать навыки работы с информацией из различных источников для решения профессиональных задач и др.

Сборник индивидуальных заданий предназначен для самостоятельной работы студентов. Он содержит 25 вариантов по 7 заданий в каждом.

К выполнению индивидуальных заданий целесообразно приступать только после изучения теоретического и методического материала, соответствующего данному разделу.

Студенту необходимо решить задачу, вывести основную расчётную формулу, выполнить проверку размерности и выполнить математические вычисления.

Для некоторых заданий необходимо знание точной формулировки закона, определения той или иной физической величины или определяющего соотношения.

Кроме формирования необходимых для выпускников вуза компетенций, самостоятельное решение заданий способствует подготовке студентов к сдаче экзамена в тестовой форме.

## Основные расчётные формулы

### 1. Интерференция света

- Скорость света в среде

$$v = \frac{c}{n} \quad (1.1)$$

где  $c$  – скорость света в вакууме;  $n$  – абсолютный показатель преломления среды.

- Оптическая длина пути световой волны

$$L = n \cdot l \quad (1.2)$$

где  $l$  – геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления  $n$ .

- Оптическая разность хода двух световых волн

$$\Delta = L_1 - L_2 \quad (1.3)$$

- Связь разности фаз  $\Delta\varphi$  колебаний с оптической разностью хода волн

$$\Delta\varphi = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\Delta}{\lambda} \quad (1.4)$$

- Условие максимумов интенсивности света при интерференции

$$\Delta = \pm k \cdot \lambda \quad (k=0, 1, 2, 3, \dots) \quad (1.5)$$

- Условие минимумов интенсивности света при интерференции

$$\Delta = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2} \quad (1.6)$$

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

### 2. Дифракция света

- Радиус  $k$ -й зоны Френеля:  
для сферической волны

$$r_k = \sqrt{\frac{ab}{a+b}} k \lambda \quad (2.1)$$

где  $a$  - расстояние диафрагмы с круглым отверстием от точечного источника света;  $b$  - расстояние диафрагмы от экрана, на котором ведется наблюдение дифракционной картины;  $k$  - номер зоны Френеля;  $\lambda$  - длина волны;

для плоской волны

$$p_k = \sqrt{bk\lambda} \quad (2.2)$$

**Дифракция света на одной щели при нормальном падении лучей.**

- Условие минимумов интенсивности света

$$a \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2} = \pm k\lambda, \quad k = 1, 2, 3, \dots, \quad (2.3)$$

где  $a$  - ширина щели;  $\varphi$  - угол дифракции;  $k$  - номер минимума;  $\lambda$  - длина волны.

- Условие максимумов интенсивности света

$$a \sin \varphi' = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.4)$$

где  $\varphi'$  - приближенное значение угла дифракции.

**Дифракция света на дифракционной решетке при нормальном падении лучей.**

- Условие главных максимумов интенсивности

$$d \sin \varphi = \pm k\lambda, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.5)$$

где  $d$  - период (постоянная) решетки;  $k$  - номер главного максимума;  $\varphi$  - угол между нормалью к поверхности решетки и направлением дифрагированных волн.

- Разрешающая сила дифракционной решетки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN, \quad (2.6)$$

где  $\Delta\lambda$  - наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий ( $\lambda$  и  $\lambda + \Delta\lambda$ ), при которой эти линии могут быть видны раздельно в спектре, полученном посредством данной решетки;  $N$  - число штрихов решетки;  $k$  - порядковый номер дифракционного максимума.

- Угловая дисперсия дифракционной решетки

$$D_{\kappa} = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{k}{d \cos\varphi}, \quad (2.7)$$

- Линейная дисперсия дифракционной решетки

$$D_l = \frac{\delta l}{\delta\lambda}, \quad (2.8)$$

- Для малых углов дифракции

$$D_l \approx f D_{\varphi} \approx f \frac{k}{d}, \quad (2.9)$$

где  $f$  - главное фокусное расстояние линзы, собирающей на экране дифрагирующие волны.

- Разрешающая сила объектива телескопа

$$R = \frac{1}{\beta} = \frac{D}{1,22\lambda}, \quad (2.10)$$

где  $\beta$  - наименьшее угловое расстояние между двумя светлыми точками, при котором изображения этих точек в фокальной плоскости объектива могут быть видны раздельно;  $D$  - диаметр объектива;  $\lambda$  - длина волны.

- Формула Вульфа - Брэгга

$$2d \sin\upsilon = k\lambda, \quad (2.11)$$

где  $d$  - расстояние между атомными плоскостями кристалла;  $\upsilon$  - угол скольжения (угол между направлением пучка параллельных лучей, падающих на кристалл, и гранью кристалла), определяющий направление, в котором имеет место зеркальное отражение лучей (дифракционный максимум).

### 3. Поляризация света

- Закон Брюстера

$$\operatorname{tg} \varepsilon_B = n_{21} \quad (3.1)$$

где  $\varepsilon_B$  - угол падения, при котором отраженная световая волна полностью поляризована;  $n_{21}$  - относительный показатель преломления.

- Закон Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \quad (3.2)$$

где  $I$  - интенсивность плоскополяризованного света, прошедшего через анализатор;  $I_0$  - интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор;  $\alpha$  - угол между направлением колебаний светового вектора волны, падающей на анализатор, и плоскостью пропускания анализатора.

- Степень поляризации света

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (3.3)$$

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

- Угол поворота  $\varphi$  плоскости поляризации оптически активными веществами определяется соотношениями:

- а) в твердых телах

$$\varphi = \alpha d, \quad (3.4)$$

где  $\alpha$  - постоянная вращения;  $d$  - длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;

- б) в чистых жидкостях

$$\varphi = [\alpha] \rho d, \quad (3.5)$$

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

- в) в растворах

$$\varphi = [\alpha] C d, \quad (3.6)$$

где  $C$  - массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

## Задания для самостоятельной работы

### Вариант 1

1. В точке среды с  $\varepsilon = 3$  напряженность электрического поля изменяется в соответствии с функцией  $E(t) = i \cdot E_m \cos(100 \pi t)$ ;  $E_m = 100$  В / м. Определите в этой точке плотность тока смещения.

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

3. Оцените длину когерентности видимого света  $L_{\text{ког}}$ , ширину спектра волнового пакета  $\Delta\omega$  и соответствующий интервал длин волн  $\Delta\lambda$ , если время жизни атома в возбужденном состоянии  $\tau = 10^{-8}$  с.

4. Экран с круглым отверстием радиусом 1,5 мм расположен на расстоянии 8,6 м от точечного источника света, излучающего свет с длиной волны 0,6 мкм. На каком расстоянии от отверстия расположена точка наблюдения, если из нее видна одна первая зона Френеля? На какое расстояние надо переместить точку наблюдения, чтобы в ней образовалось темное пятно?

5. При прохождении в некотором веществе пути  $x$  интенсивность света уменьшилась в 3 раза. Определите, во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении пути  $2x$ .

6. Степень поляризации частично поляризованного света составляет 0,75. Определите отношение максимальной интенсивности света, пропускаемого анализатором, к минимальной.

7. На две металлические пластины, работа выхода электронов, с поверхности которых равны 3 и 4 эВ соответственно, падают фотоны с энергией 5 эВ. Во сколько раз максимальная скорость электронов, вылетающих из первой пластины, больше, чем из второй?



## Вариант 2

1. Определите частоту  $\nu$  электромагнитной волны, при которой амплитуды тока смещения и тока проводимости равны. Волна распространяется в среде с параметрами: а)  $\epsilon = 80$ ;  $\gamma = 4$  См/м (морская вода); б)  $\epsilon = 6$ ;  $\gamma = 10^{-13}$  См/м.

2. Монохроматический свет с длиной волны 550 нм падает на границу раздела двух сред под углом  $45^\circ$ . Свет, с какой длиной волны выйдет из второй среды, если угол преломления составит  $30^\circ$ ?

3. Определите время и длину когерентности излучателя для двух случаев: а) спонтанного излучения спектральной линии аргона 545 нм (ширина линии от разрядной трубки  $\Delta\lambda = 1,00 \cdot 10^{-13}$  м); б) генерации аргоновым лазером линии 545 нм (ширина линии от лазера  $\Delta\lambda = 1,00 \cdot 10^{-17}$  м)

4. Параллельный пучок света падает нормально на круглую диафрагму радиусом 1,4 мм, расположенную на расстоянии 4 м от точки наблюдения. Что возникнет в точке наблюдения – максимум или минимум интенсивности? Длина световой волны 0,5 мкм. До какого радиуса надо расширить диафрагму, чтобы в точке наблюдения возник минимум интенсивности? Куда при этом исчезает энергия световой волны?

5. Коэффициент поглощения некоторого вещества для монохроматического света определенной длины волны  $\alpha = 0,1$  см<sup>-1</sup>. Определите толщину слоя вещества, необходимую для ослабления света: 1) в 2 раза; 2) в 5 раз. Потери на отражение света не учитывать.

6. Естественный свет падает на поверхность диэлектрика под углом полной поляризации. Коэффициент пропускания света равен 0,92. Найти степень поляризации преломленного луча.

7. При увеличении в 2 раза частоты падающего на металл света задерживающее напряжение для электронов увеличивается в 4 раза. Определить длину волны света, соответствующую красной границе фотоэффекта, если первоначальная длина волны 600 нм.

### Вариант 3

1. К плоскому вакуумному конденсатору, расстояние между пластинами которого  $d = 4 \cdot 10^{-3}$  м, приложено гармоническое напряжение с частотой  $4 \cdot 10^2$  Гц и амплитудой  $U_m = 50$  В. Определите максимальную плотность тока смещения в конденсаторе и укажите для произвольной точки в нем направления векторов  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  и  $\vec{j}_{см}$ .

2. При переходе луча света из одной среды в другую угол падения равен  $30^\circ$ , а угол преломления равен  $60^\circ$ . Каков относительный показатель преломления второй среды относительно первой?

3. Определите время и длину когерентности излучения газового лазера, работающего на углекислом газе (длина волны генерации  $10,5$  мкм), если ширина линии газового лазера  $\Delta\lambda = 1,00 \cdot 10^{-17}$  м.

4. Расстояние между точечным источником света и экраном составляет  $12$  м. Освещенность точки наблюдения, расположенной на экране на кратчайшем расстоянии до источника, равна  $E_0$ . Посередине между экраном и источником поместили прозрачную ширму с круглым отверстием в центре. При этом освещенность в точке наблюдения возросла в  $4$  раза. Каков радиус отверстия, если опыт проводился с натриевой лампой, испускающей свет с длиной волны  $589,3$  нм?

5. Плоская монохроматическая волна распространяется в некоторой среде. Коэффициент поглощения среды для данной длины волны равен  $1,2 \text{ м}^{-1}$ . На сколько процентов уменьшается интенсивность света при прохождении волной пути, равного  $5,0$  мм.

6. Естественный свет падает на поверхность диэлектрика под углом полной поляризации. Степень поляризации преломленного луча составляет  $0,09$ . Найти коэффициент отражения.

7. При увеличении в  $2$  раза энергии фотонов, падающих на металлическую пластинку, максимальная кинетическая энергия

вылетающих электронов увеличилась в 3 раза. Определить в эВ работу выхода электронов, если начальная энергия фотонов 10 эВ.

#### Вариант 4

1. Определите плотность тока смещения в диэлектрике с  $\varepsilon=6$  в случае, когда диэлектрик перемещается со скоростью  $v = 10$  м/с в неоднородном электростатическом поле на расстояние  $\Delta x = 10^{-2}$  м из области с напряженностью  $E_1 = 10^5$  В/м в область с  $E_2 = 4 \cdot 10^4$  В/м.

2. Если угол падения светового луча из вакуума на скипидар равен  $45^\circ$ , а угол преломления равен  $30^\circ$ , то какова скорость распространения света в скипидаре?

3. Спектры излучения газовых лазеров (например, гелий-неонового) в многомодовом режиме представляют собой совокупность близко расположенных линий с общей шириной  $\Delta\nu_0 \approx 10^9$  Гц. При определенных условиях лазер может работать на длине волны, отвечающей одной из мод (одной из компонент спектра), имеющей типичную ширину  $\Delta\nu_1 \approx 10^7$  Гц. Оцените время и длину когерентности излучения лазера в первом и во втором режимах.

4. Параллельный пучок света от монохроматического источника ( $\lambda=0,5$  мкм) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием диаметром 1 мм. Темным или светлым будет центр дифракционной картины на экране, находящемся на расстоянии 0,5 м от диафрагмы?

5. Имеется прозрачная пластина толщины  $d=10$  см. Для некоторой длины волны  $\lambda$  коэффициент поглощения пластины изменяется от значения  $\alpha_1=0,8$  м<sup>-1</sup> у одной поверхности до  $\alpha_2=1,2$  м<sup>-1</sup> у другой поверхности. Определить в процентах ослабление интенсивности монохроматического света данной длины волны при прохождении ими толщи пластины.

6. В частично поляризованном свете амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в 3 раза больше амплитуды, соответствующей минимальной интенсивности. Определить степень поляризации света.

7. Длина волны ультрафиолетового света, падающего на металлическую пластинку, уменьшилась с 250 до 125 нм. Во сколько раз изменилась максимальная кинетическая энергия вылетающих электронов, если работа выхода равна 3,3 эВ?

### Вариант 5

1. Определите диэлектрическую проницаемость длинного цилиндрического стержня из диэлектрика радиусом  $r = 10^{-2}$  м, если он пронизывается в осевом направлении однородным электрическим полем, напряженность которого монотонно изменяется на  $\Delta E = 5 \cdot 10^5$  В / м за время  $\Delta t = 10^{-7}$  с, и на расстоянии  $d = 2 \cdot 10^{-2}$  м от оси стержня возникает магнитное поле напряженностью  $H = 0,8$  А/м.

2. Под каким углом из вакуума должен падать световой луч на поверхность вещества с показателем преломления 1,73, что бы угол преломления был в два раза меньше угла падения?

3. Почему в радиодиапазоне можно добиться большей пространственной и временной когерентности излучения, чем в световом диапазоне?

4. Дифракция наблюдается на расстоянии  $l$  от точечного источника монохроматического света ( $\lambda = 0,5$  мкм). Посередине между источником света и экраном находится непрозрачный, круглый диск диаметром 5 мм. Определить расстояние  $l$ , если диск закрывает только центральную зону Френеля.

5. Определить толщину слоя вещества, ослабляющего интенсивность монохроматического света в 3 раза, если толщина слоя половинного ослабления составляет 2 м.

6. На пути частично поляризованного света, степень поляризации которого равна 0,6, поставили анализатор так, что интенсивность света, прошедшего через него стала максимальной. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, если плоскость пропускания анализатора повернуть на угол  $\alpha = 30^\circ$ ?

7. При изменении длины волны монохроматического излучения, освещающего фотокатод, максимальная скорость вылетающих электронов увеличилась в 2 раза. Найти конечную длину волны излучения, если начальная длина волны излучения

равнялась 400 нм, а красная граница фотоэффекта для материала фотокатода составляет 600 нм.

### Вариант 6

1. Вычислите амплитуду напряженности электрического поля электромагнитной волны, распространяющейся в среде ( $\epsilon = 2$ ;  $\mu = 1$ ), в точке с амплитудой напряженности магнитного поля равной 200 А/м.

2. Как изменится длина волны света при переходе из среды с абсолютным показателем преломления 2 в среду с абсолютным показателем преломления 1,5?

3. С некогерентной волной связывают такие понятия, как а) время когерентности  $\tau_{\text{ког}}$ ; б) длина когерентности  $L_{\text{ког}}$ ; в) радиус когерентности  $\rho_{\text{ког}}$ ; г) объем когерентности  $V_{\text{ког}}$ . Разъясните содержание этих понятий и попытайтесь представить соответствующие формулы.

4. Щель шириной 0,5 мм освещается красным светом от лазера с  $\lambda=630$  нм. На каком расстоянии от щели можно отчетливо наблюдать дифракционную картину?

5. Монохроматический пучок света проходит через стопу из 5 одинаковых плоскопараллельных стеклянных пластинок, каждая толщиной 0,50 см. Коэффициент отражения на каждой поверхности пластинок  $R=0,05$ . Отношение интенсивности света, прошедшего через эту стопу пластинок, к интенсивности падающего света равно 0,55. Пренебрегая вторичными отражениями света, определить показатель преломления данного стекла.

6. На николю падает пучок частично-поляризованного света. При некотором положении николя интенсивность света, прошедшего через него, стала минимальной. Когда плоскость пропускания николя повернули на угол  $\beta = 45^0$ , интенсивность света возросла в 1,5 раза. Определить степень поляризации света.

7. Пучок ультрафиолетовых лучей с длиной волны  $\lambda=0,33$  мкм и мощностью 10 мВт падает на фотокатод. Определите в мкА

силу фототока, если фотоэффект вызывают лишь 3% падающих фотонов.

### Вариант 7

1. Источником электромагнитных волн в радиодиапазоне являются токи проводимости или токи смещения в излучателе. Что является источником электромагнитных волн в световом диапазоне?

2. Если угол между отражённым и преломлённым лучами при падении света на стеклянную пластинку с показателем преломления 1,5 оказался равным  $90^\circ$ , то чему равен угол падения луча?

3. Угловой размер Солнца для земного наблюдателя составляет около 0,01 рад, длина световой волны равна примерно 0,5 мкм. Оцените радиус когерентности приходящих от Солнца световых волн.

4. Диафрагма диаметром 1 см освещается зеленым светом с длиной волны  $\lambda=0,5$  мкм. На каком расстоянии от диафрагмы будет справедливо приближение геометрической оптики?

5. Луч света, содержащий две монохроматические составляющие, проходит через трехгранную призму с преломляющим углом  $A=60^\circ$ . Определить угол  $\Delta\alpha$  между обеими составляющими луча после призмы, если показатели преломления для них равны 1,515 и 1,520 и призма ориентирована на угол наименьшего отклонения.

6. Во сколько раз ослабевает свет, проходя сквозь три николя, если оптические оси первого и второго николей составляют угол  $\varphi_1=30^\circ$ , а оптические оси второго и третьего николей составляют угол  $\varphi_2=60^\circ$ .

7. При фотоэффекте с поверхности платины величина задерживающего потенциала оказалась равной 0,8 В. Найти длину волны используемого света, если работа выхода платины равна 5,3 эВ.

## Вариант 8

1. Определите среднее значение объемной плотности энергии в падающей электромагнитной волне с амплитудой напряженности электрического поля  $E_m$  на площадку, полностью поглощающую излучение. Волна падает по нормали к площадке.

2. Луч света падает из стеклянной пластинки с абсолютным показателем преломления 1,5 в вакуум. Чему равен предельный угол полного внутреннего отражения?

3. Источник света диаметром  $D = 30,0$  см находится от места наблюдения на расстоянии  $l = 200$  м. В излучении источника содержатся компоненты с длинами волн от 490 до 510 нм. Оцените для этого излучения время, длину, радиус и объем когерентности.

4. Сферическая волна  $\lambda = 0,5$  мкм падает на щель шириной  $b = 0,2$  мм. На каком расстоянии от щели наблюдатель увидит четкую дифракционную картину? Каков вид этой дифракции?

5. Луч белого света проходит через трехгранную призму с преломляющим углом  $A = 60^\circ$ . Определить угловую ширину полученного разложения в спектр (ограничиться видимым диапазоном).

6. Определите, во сколько раз уменьшится интенсивность света, прошедшего через два николя, главные плоскости которых образуют угол  $60^\circ$ , если каждый из николей как поглощает, так и отражает 5% падающего на них света.

7. Цинковую пластинку ( $A_{\text{вых}} = 4,0$  эВ) освещают ультрафиолетовым светом с длиной волны  $\lambda = 30$  нм. Определить, на какое минимальное расстояние от пластинки может удалиться фотэлектрон, если вне пластинки имеется задерживающее однородное электрическое поле напряженностью 10 В/см.

## Вариант 9

1. На пути плоской электромагнитной волны мысленно выделим плоскую площадку  $\Delta s$ , ориентированную под углом  $\alpha$  к

направлению распространения волны. Определите средний по времени поток энергии через эту площадку, если средняя по времени объемная плотность энергии волны равна  $\langle w \rangle$ .

2. Луч света переходит из скипидара в вакуум. Угол полного внутреннего отражения равен  $30^\circ$ . Чему равна скорость распространения света в скипидаре?

3. На пути лучей в интерферометре Майкельсона поместили две одинаковые стеклянные цилиндрические трубки. После этого из одной трубки стали выкачивать воздух, наблюдая изменение интерференционной картины. Вычислите, на сколько полос сместится картина в поле зрения прибора, если давление в одной из трубок сделать вдвое меньше атмосферного, а в другой оставить равным атмосферному. Длина волны падающего света 588 нм. Длина трубок 20,0 см. Показатель преломления воздуха при нормальных условиях 1,00029. Изменение показателя преломления  $n$  в зависимости от плотности газа  $\rho$  определяется приближенным соотношением  $(n - 1) / \rho = \text{const}$ .

4. Какова фазовая скорость распространения электромагнитных волн в среде, диэлектрическая проницаемость которой  $\epsilon = 3$  и магнитная проницаемость  $\mu = 1$ ?

5. Показатель преломления воды при  $\lambda_1 = 441,6$  нм равен 1,341, а при  $\lambda_2 = 589,3$  нм равен 1,334. Определите приблизительные значения фазовой и групповой скоростей света в воде для синей области спектра (длину волны можно принять средней между  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ).

6. Чему равен угол между главными оптическими осями поляризатора и анализатора, если анализатор в 6 раз уменьшает интенсивность света, проходящего к нему от поляризатора? Показать ход лучей в призме Николя. Поглощением света пренебречь.

7. Свет с длиной волны  $\lambda = 232$  нм вырывает с поверхности платины электрон. Определить суммарный импульс, сообщаемый при этом платине, если электрон вылетает на встречу падающему фотону. Работа выхода платины равна 5,30 эВ.



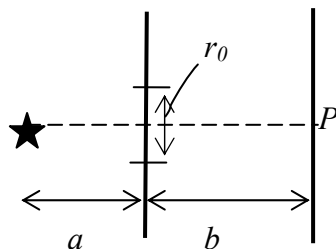
### Вариант 10

1. В современных лазерных установках достигается напряженность электрического поля  $E_m = 1$  ГВ/м. Оцените объемную плотность энергии в такой электромагнитной волне и интенсивность лазерного излучения.

2. Предельный угол полного внутреннего отражения на границе алмаза и жидкого азота равен  $30^\circ$ . Абсолютный показатель преломления алмаза равен 2,4. Во сколько раз скорость света в вакууме больше скорости света в жидком азоте?

3. Имеется источник видимого света – нить диаметром  $d_l=1,0$  мм. На каком расстоянии  $l_1$  от преграды с двумя узкими щелями, расстояние между которыми  $d=0,50$  мм, следует поместить источник (параллельно щелям), чтобы вторичные волны от щелей были когерентными?

4. Точечный источник света с  $\lambda=0,75$  мкм расположен на расстоянии  $a$  от непрозрачной преграды с отверстием радиуса  $r_0$ . На расстоянии  $b=1,0$  м от преграды расположен экран. Каким должен быть минимальный радиус отверстия  $r_0$ , чтобы интенсивность света в точке  $P$  была равна интенсивности  $I_0$  падающей волны?



5. Показатель преломления сероуглерода при  $\lambda_1 = 656$  нм равен 1,620, а при  $\lambda_2 = 580$  нм равен 1,629. Определите, во сколько раз отличаются групповая и фазовая скорости света в сероуглероде для  $\lambda = 620$  нм.

6. Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора равен  $45^\circ$ . Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до  $60^\circ$ ? Сделать чертеж. Вывести расчетную формулу.

7. При освещении катода вакуумного фотоэлемента монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda=310$  нм фототок прекращается при некотором задерживающем напряжении. При увеличении длины волны на 25% задерживающее напряжение оказывается меньше на 0,8 В. Определить постоянную Планка.

### Вариант 11

1. Определите энергию  $W$ , переносимую электромагнитной волной за время  $\Delta t$  через единичную воображаемую площадку, перпендикулярную направлению распространения волны.

2. Монохроматический свет с длиной волны 550 нм падает на границу раздела двух сред под углом  $45^\circ$ . Свет с какой длиной волны выйдет из второй среды, если угол преломления составит  $30^\circ$ ?

3. Чему равна разность фаз колебаний двух точек, если они удалены друг от друга на расстояние 3 м и лежат на прямой, перпендикулярной фронту волны? Скорость распространения волны 600 м/с, а период колебаний 0,02 с.

4. На щель шириной  $a=2\text{ мкм}$  падает нормально параллельный пучок монохроматического света  $\lambda = 589$  нм. Под какими углами  $\varphi$  будут наблюдаться дифракционные минимумы света?

5. Показатель преломления воды при  $\lambda_1=441,6$  нм равен 1,341, а при  $\lambda_2=589,3$  нм равен 1,334. Определите приблизительные значения фазовой и групповой скоростей света в воде для синей области спектра (длину волны можно принять средней между  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ).

6. Во сколько раз ослабевает естественный свет, проходя сквозь два николя, для которых плоскости поляризации составляют угол  $63^\circ$ ? Каждый из николей в отдельности ослабляет свет на 10 % за счет поглощения и на 5 % за счет отражения.

7. Фотоны с энергией 5 эВ вырывают фотоэлектроны из металла с работой выхода 4,7 эВ. Определите минимальный импульс, передаваемый поверхности этого металла при вылете электрона.

### Вариант 12

1. Плоская гармоническая электромагнитная волна падает по нормали на абсолютно поглощающую площадку площадью  $0,70\text{ м}^2$ . Вычислите амплитуды напряженности электрического и

магнитного поля в волне, если во внутреннюю энергию площадки в единицу времени превращается  $0,42 \text{ Дж/с}$ .

2. При переходе луча света из одной среды в другую угол падения равен  $30^\circ$ , а угол преломления равен  $60^\circ$ . Каков относительный показатель преломления второй среды относительно первой?

3. Разность хода двух интерферирующих лучей монохроматического света равна  $3\lambda$ . Определить разность фаз колебаний. Что будет наблюдаться в точке, где эти лучи накладываются друг на друга?

4. На щель шириной  $a=20 \text{ мкм}$  падает нормально параллельный пучок монохроматического света  $\lambda=500 \text{ нм}$ . Найти ширину изображения щели на экране, удаленном от щели на расстояние  $l=1 \text{ м}$ . (Шириной изображения щели на экране считать расстояние между двумя дифракционными минимумами первого порядка).

5. Измеряя скорость света по методу вращающегося зеркала, Майкельсон нашел, что скорость света в сероуглероде для  $D$ -линии натрия в  $1,758$  раз меньше, чем в вакууме. Показатель преломления сероуглерода для  $D$ -линии натрия, найденный другими методами, равен  $1,629$ . Объяснение этого расхождения основано на том, что в методе Майкельсона применяется прерывистый световой поток, и поэтому в диспергирующей среде измеряется групповая скорость, которая не совпадает с фазовой вследствие существования дисперсии. Вычислите дисперсию показателя преломления сероуглерода для  $D$ -линии натрия ( $\lambda = 0,589 \text{ мкм}$ ).

6. Чему равен угол между главными плоскостями поляризаторов, если интенсивность света после прохождения через них, уменьшилась в  $5,3$  раза? Считать, что каждый поляризатор отражает и поглощает по  $13\%$  падающего на него света.

7. Плоский серебряный электрод освещается монохроматическим излучением с длиной волны  $\lambda=830 \text{ нм}$ . Определите, на какое максимальное расстояние от поверхности электрода может удалиться фотозатрон, если имеется

задерживающее электрическое поле напряженностью 10 В/см. Красная граница фотоэффекта для серебра 264 нм.

### Вариант 13

1. Плоская монохроматическая электромагнитная волна, распространяющаяся в вакууме с амплитудным значением напряженности электрического поля  $2 \cdot 10^{-4}$  В/м, падает на площадку площадью  $0,4 \text{ м}^2$ . Угол падения  $60^\circ$ . Вычислите модуль вектора Пойнтинга для этой волны и поток мощности через площадку.

2. Если падения светового луча из вакуума на скипидар равен  $45^\circ$ , а угол преломления равен  $30^\circ$ , то какова скорость распространения света в скипидаре?

3. Два точечных когерентных источника света находятся в жидкости с  $n = 1,36$  на расстоянии 1,00 см друг от друга. Определите оптическую разность хода для точки, лежащей на расстоянии 20,0 см от одного из источников по направлению нормали к прямой, соединяющей источники.

4. Указать порядки главных максимумов, которые не могут наблюдаться на дифракционной решетке с периодом  $d=9,0$  мкм и шириной одной щели  $b=3,0$  мкм.

5. Для многих прозрачных веществ, особенно газов, зависимость показателя преломления  $n$  от длины волны  $\lambda_0$  в вакууме хорошо описывается формулой  $n = a + b/\lambda_0^2$ , где  $a$  и  $b$  – постоянные (для многих веществ они табулированы). Пусть для некоторого вещества показатель преломления при  $\lambda_0=759,0$  нм и  $\lambda_0=486,0$  нм, соответственно, равен 1,510 и 1,521. Определите на этой основе постоянные  $a$  и  $b$ .

6. При падении естественного света на некоторый поляризатор проходит  $\eta_1=30\%$  светового потока, а через два таких поляризатора -  $\eta_2=13,5\%$ . Найти угол  $\varphi$  между плоскостями пропускания этих поляризаторов.

7. Определите, до какого потенциала зарядится уединенный серебряный шарик при облучении его ультрафиолетовым светом с длиной волны  $\lambda=208$  нм. Работа выхода серебра 4,7 эВ.

## Вариант 14

1. В вакууме вдоль оси  $X$  распространяется плоская электромагнитная волна и падает по нормали на поверхность тела, полностью ее поглощающего. Амплитуда напряженности магнитного поля волны равна  $0,15$  А/м. Определить давление, оказываемое волной на тело. Воспользуйтесь результатом теоремы Максвелла о том, что если тело полностью поглощает падающую на него энергию, то давление численно равно среднему значению объемной плотности энергии в падающей электромагнитной волне.

2. Под каким углом из вакуума должен падать световой луч на поверхность вещества с показателем преломления  $1,73$ , что бы угол преломления был в два раза меньше угла падения?

3. Два когерентных источника, находящихся в воздухе на расстоянии  $20$  мм, испускают световые волны в одинаковой фазе с частотой  $5,0 \cdot 10^{14}$  Гц. Чему равняется разность фаз колебаний, приходящих в точку, удаленную на  $50$  см от одного из источников в направлении нормали к прямой, соединяющей источники?

4. Монохроматический свет падает нормально на щель ширины  $b = 11$  мкм. За щелью находится тонкая линза с фокусным расстоянием  $f = 150$  мм, в фокальной плоскости которой расположен экран. Найти длину волны света, если расстояние между симметрично расположенными минимумами третьего порядка на экране равно  $50$  мм.

5. Фазовая скорость электромагнитной волны с  $\lambda_0 = 500$  нм, распространяющейся в воздухе, оказалась равной  $299\,713$  км/с. Предполагая, что зависимость  $n = n(\lambda_0)$  в воздухе описывается формулой  $n = a + b/\lambda_0^2$ , где  $a = 1,000273$ ,  $b = 1,54$  нм<sup>2</sup>, определите скорость света в вакууме.

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

7. При освещении монохроматическим светом с длиной волны  $0,4$  мкм вакуумный фотоэлемент заряжается до разности

потенциалов 2 В. До какой разности потенциалов зарядится фотоэлемент, при освещении его светом с длиной волны  $\lambda=0,3$  мкм.

### Вариант 15

1. Плоская монохроматическая электромагнитная волна распространяется в вакууме вдоль оси  $x$ . Амплитуда напряженности электрического поля волны  $E_0=5$  мВ/м, амплитуда напряженности магнитного поля волны  $H_0=1$  мА/м. Определите энергию, перенесенную волной за время  $t=10$  мин через площадку, расположенную перпендикулярно оси  $x$ , площадью поверхности  $S=15$  см<sup>2</sup>. Период волны  $T \ll t$ .

2. Как изменится длина волны света при переходе из среды с абсолютным показателем преломления 2 в среду с абсолютным показателем преломления 1,5?

3. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга  $d=0,5$  ( $\lambda=0,6$  мкм). Определите расстояние  $l$  от щелей до экрана, если ширина  $b$  интерференционных полос равна 1,2 мм.

4. Свет с длиной волны  $\lambda=0,5$  мкм падает под углом  $30^\circ$  на щель ширины  $b=10$  мкм. Найти угловое направление на три первых минимума, расположенных по обе стороны от центрального максимума.

5. Предполагая, что зависимость показателя преломления  $n$  от длины волны  $\lambda_0$  в вакууме для некоторой прозрачной среды описывается формулой  $n = a + b/\lambda_0^2$ , определите фазовую и групповую скорости электромагнитных волн в такой среде.

6. Под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы его лучи, отраженные от поверхности воды, были максимально поляризованы?

7. При поочередном освещении поверхности металла светом с длиной волны  $\lambda_1=0,35$  мкм  $\lambda_2=0,54$  мкм обнаружили, что соответствующие максимальные скорости фотоэлектронов отличаются друг от друга в 2 раза. Найти работу выхода этого металла.

### Вариант 16

1. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны  $0,1 \text{ А/м}$ . Определите амплитуду напряженности электрического поля волны и среднюю по времени плотность энергии волны.

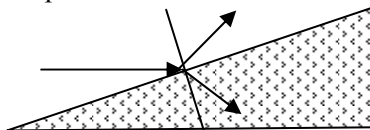
2. Если угол между отражённым и преломлённым лучами при падении света на стеклянную пластинку с показателем преломления  $1,5$  оказался равным  $90^\circ$ , то чему равен угол падения луча?

3. Когерентные источники белого света, расстояние между которыми  $0,32 \text{ мм}$ , имеют вид узких щелей. Экран, на котором наблюдают интерференцию света от этих источников, находится от них на расстоянии  $3,2 \text{ м}$ . Найти расстояние между красной ( $\lambda_{\text{кр}}=760 \text{ нм}$ ) и фиолетовой ( $\lambda_{\text{ф}}=400 \text{ нм}$ ) линиями второго интерференционного спектра на экране. Сделать чертеж и вывести расчетную формулу.

4. На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Его направление на четвертую темную дифракционную полосу составляет  $2,2^\circ$ . Определить, сколько длин волн укладывается на ширине щели.

5. Предполагая, что зависимость показателя преломления  $n$  от длины волны  $\lambda_0$  в вакууме для некоторой прозрачной среды описывается формулой  $n = a + b/\lambda_0^2$ , определите фазовую и групповую скорости электромагнитных волн в такой среде.

6. Пучок естественного света падает на стеклянную призму с углом  $\alpha=30^\circ$ . Определить показатель преломления стекла, если отраженный луч является плоско поляризованным.



7. До какого максимального потенциала зарядится удаленный от других тел медный шарик при облучении его электромагнитным излучением с  $\lambda=140 \text{ нм}$ , если работа выхода меди равна  $4,47 \text{ эВ}$ ?

### Вариант 17

1. В однородной и изотропной среде с  $\epsilon=2$  и  $\mu=2$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны 50 В/м. Найти амплитуду напряженности магнитного поля и фазовую скорость волны.

2. Луч света падает из стеклянной пластинки с абсолютным показателем преломления 1,5 в вакуум. Чему равен предельный угол полного внутреннего отражения?

3. Расстояние от щелей до экрана в опыте Юнга 1 м. Определить расстояние между щелями, если на 1 см экрана укладывается 10 темных интерферирующих полос. Длина волны 0,7 мм. Сделать чертеж и вывести расчетную формулу.

4. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Натриевая линия  $\lambda=589$  нм дает в спектре первого порядка угол дифракции  $\varphi_1=17^\circ 8'$ . Некоторая линия дает в спектре второго порядка дифракции  $\varphi_2=24^\circ 12'$ . Найти длину волны  $\lambda_2$  и число штрихов  $N$  на единицу длины решетки.

5. Пусть дисперсия фазовой скорости для некоторой среды описывается соотношением  $v = \alpha\omega^\beta$ ,  $\beta < 0$  (нормальная дисперсия). Определите групповую скорость. *Замечание.* Целесообразно рассчитывать  $1/u = dk/d\omega$ ;  $k = \omega n/c_0 = \omega/v$ .

6. Требуется изготовить кварцевую пластинку параллельную оптической оси, толщина которой не превышала бы 0,5 мм. Найти максимальную толщину этой пластинки, при которой линейно поляризованный свет с  $\lambda=589$  нм после прохождения через нее испытывает лишь поворот плоскости поляризации.

7. Электромагнитное излучение с длиной волны  $\lambda=0,30$  мкм падает на фотоэлемент, находящийся в режиме насыщения. Соответствующая спектральная чувствительность фотоэлемента равна 4,8 мА/Вт. Найти выход фотоэлектронов, т.е. число фотоэлектронов на каждый падающий фотон.



## Вариант 18

1. Уравнение плоской электромагнитной волны, распространяющейся в среде с  $\mu=1$ , имеет вид  $E=10\sin(2\pi 10^8 t-4,19x)$ . Определить диэлектрическую проницаемость среды и длину волны.

2. Луч света переходит из скипидара в вакуум. Угол полного внутреннего отражения равен  $30^\circ$ . Чему равна скорость распространения света в скипидаре?

3. С помощью бипризмы Френеля получают два когерентных мнимых точечных источника света, отстающих друг от друга на 1 мм. Найти расстояние от источников до экрана, если 5-й наблюдаемый максимум расположен на расстоянии 5 мм от центра экрана. Длина волны  $\lambda=6 \cdot 10^{-7}$  м.

4. Постоянная дифракционной решетки равна 5 мкм. Определите наибольший порядок спектра, общее число главных максимумов в дифракционной картине и угол дифракции в спектре четвертого порядка при нормальном падении монохроматического света с длиной волны 0,625 мкм.

5. Показатель преломления воздуха для желтой линии натрия при  $14,5^\circ\text{C}$  и при нормальном атмосферном давлении равен 1,00029. Вычислите показатель преломления воздуха при той же температуре и давлении  $28,6 \cdot 10^5$  Па.

6. Требуется изготовить кварцевую пластинку параллельную оптической оси, толщина которой не превышала бы 0,5 мм. Найти максимальную толщину этой пластинки, при которой линейно поляризованный свет с  $\lambda=589$  нм после прохождения через нее станет поляризованным по кругу.

7. Определить угол рассеяния  $\gamma$ -кванта при столкновении со свободным неподвижным электроном, если изменение длины волны при рассеянии составляет 2,1 пм.

### Вариант 19

1. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны 100 В/м. Какую энергию переносит эта волна через площадку  $50 \text{ см}^2$ , расположенную перпендикулярно направлению распространения волны, за время  $t=1$  мин. Период волны  $T \ll t$ .

2. Предельный угол полного внутреннего отражения на границе алмаза и жидкого азота равен  $30^\circ$ . Абсолютный показатель преломления алмаза равен 2,4. Во сколько раз скорость света в вакууме больше скорости света в жидком азоте?

3. Расстояние от щелей до экрана в опыте Юнга равно 1 м. Определить расстояние между щелями, если на отрезке длиной 1 см укладывается 10 темных интерференционных полос. Длина волны монохроматического света равна  $0,7 \text{ мкм}$ .

4. На дифракционную решетку с периодом  $6 \text{ мкм}$  падает нормально свет. Какие спектральные линии, соответствующие длинам волн видимого диапазона, будут совпадать в направлении  $\varphi=30^\circ$ ?

5. Пульсар периодически излучает радиоимпульсы, которые регистрируются на Земле радиотелескопами. Если приемник телескопа перестроить с частоты  $f_1 = 150 \text{ МГц}$  на частоту  $f_2 = 240 \text{ МГц}$ , то очередной импульс появится раньше на  $\Delta t = 1,3 \text{ с}$ . Каково расстояние  $L$  до этого пульсара, если в межзвездном пространстве концентрация электронов составляет  $N = 0,030 \text{ см}^{-3}$ .

6. Параллельный пучок света падает нормально на пластинку из исландского шпата толщиной  $50 \text{ мкм}$ , вырезанную параллельно оптической оси. Принимая показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно  $n_o=1,66$  и  $n_e=1,49$ , определите разность хода и разность фаз лучей, прошедших через пластинку.

7. В результате упругого столкновения  $\gamma$ -кванта со свободным неподвижным электроном  $\gamma$ -квант был рассеян на угол  $30^\circ$  к первоначальному направлению движения. Энергия рассеянного  $\gamma$ -кванта  $1,5 \text{ МэВ}$ . Найти начальную энергию  $\gamma$ -кванта.

## Вариант 20

1. В среде ( $\epsilon=3$ ,  $\mu=3$ ) распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны  $0,5$  А/м. На ее пути перпендикулярно направлению распространения расположена поглощающая поверхность, имеющая форму круга радиусом  $0,1$  м. Чему равна энергия, поглощенная этой поверхностью за время  $t=30$  с? Период волны  $T \ll t$ .

2. Луч света, идущий в сосуде с серной кислотой ( $n=1,43$ ), отражается от дна. При каком угле падения отраженный луч полностью поляризован? Показатель преломления стекла  $n=1,75$ .

3. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света равно  $0,5$  мм, расстояние до экрана  $5$  м. В зеленом свете интерференционные полосы на экране получились на расстоянии  $5$  мм друг от друга. Найти длину волны зеленого света.

4. Дифракционная решетка, имеющая  $200$  штрихов на  $1$  мм, расположена на расстоянии  $2$  м от экрана. На решетку падает белый свет с максимальной длиной волны  $\lambda=0,72$  мкм и минимальной длиной волны  $\lambda=0,43$  мкм. Найдите длину спектра первого порядка на экране.

5. Показатель преломления плазмы для радиоволн с частотой  $f=10$  МГц равен  $n=0,90$ . Определите концентрацию  $N$  электронов в плазме, а также фазовую и групповую скорости этих радиоволн.

6. Кристаллическая пластинка из исландского шпата с наименьшей толщиной  $d=0,86$  мкм служит пластинкой в четверть волны для  $\lambda = 0,59$  мкм. Определите разность показателей преломления  $\Delta n$  обыкновенного и необыкновенного лучей.

7. Определить изменение длины волны  $\gamma$ -кванта при комптоновском рассеянии на свободном неподвижном электроне, если рассеяние произошло на угол  $60^\circ$ . Какова энергия рассеянного  $\gamma$ -кванта если до рассеяния энергия составляла  $3,2$  МэВ?

### Вариант 21

1. В однородной и изотропной среде с  $\epsilon=3$  и  $\mu=3$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля  $E_m=10$  В/м. Найти: а) амплитуду напряженности магнитного поля волны  $H_m$ ; б) фазовую скорость волны.

2. Пучок параллельных лучей падает на толстую стеклянную пластину под углом  $\alpha = 60^\circ$ , и преломляясь переходит в стекло. Ширина пучка в воздухе 10 см. определить ширину пучка в стекле.

3. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света равно 0,5 мм, расстояние до экрана 5 м. В зеленом свете интерференционные полосы на экране получились на расстоянии 5 мм друг от друга. Найти длину волны зеленого света.

4. Сколько штрихов на 1 мм имеет дифракционная решетка, для которой зеленая линия спектра ртути  $\lambda=0,55$  мкм в спектре второго порядка наблюдается под углом  $19,13^\circ$ ?

5. Известно, что при удалении от нас некоторой туманности линия излучения водорода ( $\lambda= 656,3$  нм) в ее спектре смещена в красную сторону на  $\Delta\lambda = 2,5$  нм. Определите скорость удаления туманности.

6. Определите наименьшую толщину кристаллической пластинки в целую длину волны для  $\lambda = 530$  нм, если разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей для данной длины волны  $n_e - n_o = 0,01$ .

7. В результате комптоновского рассеяния энергия падающего фотона распределилась поровну между рассеянным фотоном и электроном отдачи. Угол рассеяния равен  $90^\circ$ . Определить энергию и импульс рассеянного фотона.

## Вариант 22

1. В вакууме вдоль оси  $X$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны  $H_m=0,05$  А/м. Определить а) амплитуду напряженности электрического поля волны  $E_m$ ; б) среднюю по времени плотность энергии волны  $\langle w \rangle$

2. На столе лежит лист бумаги. Луч света, падающий на бумагу под углом  $\alpha=30^\circ$ , дает на ней светлое пятно. Насколько сместится это пятно, если на бумагу положить плоскопараллельную стеклянную пластину толщиной  $d = 5$  см?

3. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света равно 0,5 мм, расстояние до экрана 5 м. В зеленом свете интерференционные полосы на экране получились на расстоянии 5 мм друг от друга. Найти длину волны зеленого света.

4. Определите длину волны монохроматического света, падающего на решетку с периодом 3,33 мкм, если угол между направлением на первый и второй максимумы равен  $10^\circ$ .

5. Плоское зеркало удаляется от наблюдателя со скоростью  $v$  вдоль нормали к плоскости зеркала. На зеркало посылают пучок света длиной волны  $\lambda = 500$  нм. Определить длину волны  $\lambda$  света, отраженного от зеркала, движущегося со скоростью 0,2 с.

6. Кварцевую пластинку, вырезанную параллельно оптической оси, поместили между двумя скрещенными поляризаторами. Угол между плоскостями пропускания поляризаторов и оптической осью пластинки  $45^\circ$ . Толщина пластинки  $d=0,50$ мм. При каких длинах волн в интервале 0,50-0,60 мкм интенсивность света, прошедшего через эту систему не будет зависеть от поворота заднего поляризатора? Разность показателей преломления необыкновенного и обыкновенного лучей в этом интервале длин волн считать  $\Delta n=0,009$ .

7. Рентгеновский фотон, характеризуемый частотой  $\nu=1,5 \cdot 10^{18}$  Гц, при комптоновском столкновении с электроном

потерял 10% своей энергии. Определить энергию и длину волны падающего и рассеянного фотона.

### Вариант 23

1. В вакууме вдоль оси  $X$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны составляет 50 мВ/м. Определите интенсивность волны  $I$ .

2. Монохроматический свет с длиной волны 550 нм падает на границу раздела двух сред под углом  $45^\circ$ . Свет, с какой длиной волны выйдет из второй среды, если угол преломления составит  $30^\circ$ ?

3. В опыте Юнга расстояние между щелями равно 0,8 мм, длина волны света 0,7 мкм. На каком расстоянии от щелей следует расположить экран, чтобы ширина интерференционной полосы оказалась равной 2 мм?

4. Свет с длиной волны 535 нм падает нормально на дифракционную решетку. Найти ее период, если наибольший порядок спектра равен 5.

5. Космический корабль удаляется от Земли со скоростью 10 км/с. Частота электромагнитных волн  $\nu_0$ , излучаемых антенной корабля, равна 30 МГц. Определить доплеровское смещение частоты, воспринимаемое приемником.

6. Между двумя скрещенными поляризаторами поместили кварцевый клин с преломляющим углом  $\theta=3,5^\circ$ . Оптическая ось клина параллельна его ребру и составляет угол  $45^\circ$  с плоскостями пропускания поляризаторов. При прохождении через эту систему света с  $\lambda=564$  нм наблюдается система полос. Ширина каждой полосы  $\Delta x=1,0$  мм. Определить разность показателей преломления необыкновенного и обыкновенного лучей для кварца.

7. Фотон рассеялся под углом  $\theta=120^\circ$  на покоившемся свободном электроны, в результате чего электрон получил кинетическую энергию  $E=0,45$  МэВ. Найти энергию фотона до рассеяния.

### Вариант 24

1. В вакууме вдоль оси  $X$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны составляет 5 мА/м. Определите интенсивность волны  $I$ .

2. При переходе луча света из одной среды в другую угол падения равен  $30^\circ$ , а угол преломления равен  $60^\circ$ . Каков относительный показатель преломления второй среды относительно первой?

3. Расстояние между двумя когерентными источниками света равно 0,2 мм. Они удалены от экрана на расстояние 2 м. Найти длину волны, излучаемую когерентными источниками, если расстояние на экране между третьим и пятым минимумами интерференционной картины равно 1,2 см.

4. Пучок света с длинами волн в интервале от 0,4 до 0,76 мкм падает нормально на дифракционную решетку. При этом в спектре третьего порядка под углом  $\varphi$  наблюдается линия, соответствующая длине волны  $\lambda=0,48$  мкм. Будут ли видны под этим же углом еще какие-нибудь спектральные линии?

5. Вычислить групповую и фазовую скорости света с длиной волны 643,8 нм в воде, если известно, что показатель преломления для этой длины волны равен 1,3314, а для волны с длиной 656,3 нм он равен 1,3311.

6. Ячейку Керра поместили между двумя скрещенными поляризаторами так, что направление электрического поля  $E$  в конденсаторе образует угол  $45^\circ$  с плоскостями пропускания поляризаторов. Конденсатор имеет длину  $l=100$  мм и заполнен нитробензолом. Через систему проходит свет с  $\lambda=0,50$  мкм. Постоянная Керра (постоянной Керра называют коэффициент  $B$  в формуле  $n_e - n_o = B\lambda E^2$ ) в данном случае  $B=2,2 \cdot 10^{-10}$  см/В<sup>2</sup>. Определить число прерываний света в одну секунду, если на конденсатор подать синусоидальное напряжение с частотой  $\nu=10$  МГц и амплитудным значением напряженности  $E$ .

7. Найти длину волны рентгеновского излучения, если максимальная кинетическая энергия комптоновских электронов отдачи равна 0,19 МэВ.

## Справочные таблицы

Таблица 1

### Основные физические постоянные

Физическая величина	Численное значение
Авогадро постоянная	$N_A = 6,022169(40) \cdot 10^{23}$ моль <sup>-1</sup>
Атмосфера стандартная (давление атмосферное нормальное)	1 атм = $1,01325 \cdot 10^5$ Па (точно)
Атомная единица массы	1 а.е.м. = $1,660531(11) \cdot 10^{-27}$ кг
Больцмана постоянная	$k = 1,380658(12) \cdot 10^{-23}$ Дж·К <sup>-1</sup>
Объем моля идеального газа при нормальных условиях ( $P = 1$ атм, $T = 273,15$ К)	$V_o = 22,41410(19) \cdot 10^{-3}$ м <sup>3</sup>
Универсальная газовая постоянная	$R = k N_A = 8,31441(26)$ Дж·К <sup>-1</sup> ·моль <sup>-1</sup>

Таблица 2

### Множители, приставки для образования десятичных, кратных единиц

Множитель	Приставка	
	Наименование	Обозначение
$10^{12}$	Тера	Т
$10^9$	Гига	Г
$10^6$	Мега	М
$10^3$	Кило	к
$10^{-1}$	Деци	д
$10^{-2}$	Санتي	с
$10^{-3}$	Милли	м
$10^{-6}$	Микро	мк
$10^{-9}$	Нано	н
$10^{-12}$	Пико	п



Таблица 3

Основные величины, их обозначения и единицы величин в СИ

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			Международное	русское
Длина	L	метр	<i>m</i>	<i>м</i>
Время	T	секунда	<i>s</i>	<i>с</i>
Масса	M	килограмм	<i>kg</i>	<i>кг</i>
Сила электрического тока	I	Ампер	<i>A</i>	<i>А</i>
Термодинамическая температура	Θ	Кельвин	<i>K</i>	<i>К</i>
Количество вещества	N	моль	<i>mol</i>	<i>моль</i>
Сила света	J	кандела	<i>cd</i>	<i>кд</i>

Таблица 4

Производные единицы СИ, имеющие наименование

Величина	Единица		
	наименование	Обозначение	Выражение через основные единицы СИ
Частота	Герц	Гц	$s^{-1}$
Сила	Ньютон	Н	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Давление	Паскаль	Па	$m^{-1} kg \cdot s^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	Джоуль	Дж	$m^2 kg \cdot s^{-2}$
Мощность, поток энергии	Ватт	Вт	$m^2 kg \cdot s^{-3}$

## Рекомендуемый библиографический список

### Основная литература

1. Трофимова Т.И./Курс физики: учеб. пособие/ Т.И.Трофимова. - 21-е изд., стер. - М. : Академия, 2015. - 560 с. и пред.изд. (2008, 2007, 2004, 1997)
2. Детлаф А.А. Курс физики : учеб. пособие / А.А. Детлаф, Б.М.Яворский. - 5-е изд., стер. - М. : АCADEMIA, 2005. - 720 с.и пред. изд. (2003, 2002, 2001, 1998)
3. Савельев И.В. Курс физики : учеб. пособие: в 3 т. Т.1. Механика. Молекулярная физика /И.В. Савельев – Изд. 5-е, стер. - СПб.[и др.]: Лань,2016. - 352 с.и пред. изд. (2008, 1998, 1989)
4. Савельев И.В. Курс физики : учеб. пособие: в 3 т. Т.2. Электричество. Колебания и волны /И.В. Савельев – Изд. 4-е, стер. - СПб.[и др.]: Лань,2016. - 480 с.и пред. изд. (2008, 1998, 1989)
5. 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 /И.В. Савельев – Изд. 4-е, стер. - СПб.[и др.]: Лань,2016. - 308 с.и пред. изд. (2007,1989, 1987)

### Дополнительная литература

1. Иродов И.Е. Задачи по общей физике: учеб. пособие / И. Е. Иродов. - Москва: Лань, 2009. - 416 с.— 434 с. и пред. изд. (2007, 2004, 2003, 1988)
2. Мустафаев А.С. Введение в ядерную физику: учеб. пособие /А.С.Мустафаев. Н.С.Пшелко; Нац. минер.-сырьевой ун-т "Горный". С-Пб.: Горн.ун-т, 2013.-132 с.
3. Чуркин Ю.В. Физика твердого тела: учеб. пособие/ Ю. В. Чуркин, С. В. Субботин ; СЗТУ. - СПб. : Изд-во СЗТУ, 2008. - 144 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Основные расчётные формулы .....	4
1. Интерференция света.....	4
2. Дифракция света .....	4
3. Поляризация света .....	6
Задания для самостоятельной работы .....	8
Рекомендуемый библиографический список.....	34

**ФИЗИКА**  
**ВОЛНОВАЯ ОПТИКА**

*Методические указания к самостоятельной работе  
для студентов всех специальностей  
и направлений бакалавриата*

Сост.: *В.В. Фицак, А.А. Страхова*

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

Ответственный за выпуск *В.В. Фицак*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 15.04.2019. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 2,0. Усл.кр.-отг. 2,0. Уч.-изд.л. 1,8. Тираж 100 экз. Заказ 357. С 130.

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