МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра физики

Ф И З И К А

Часть II. Раздел I

ОПТИКА

Методические указания к решению задач и
контрольные задания по физике
для студентов заочников всех направлений подготовки

Казань
2013

УДК 535
ББК 22.34
Я31

Я31 Физика. Часть II. Раздел I. Оптика: Методические указания к решению задач и контрольные задания по физике для студентов заочников всех направлений подготовки. / Сост.: Э.М. Ягунд, А.М. Хакимов. Под ред. В.В. Алексеева. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2013. – 31 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Данные методические указания являются составной частью методического обеспечения самостоятельной работы студентов-заочников.

Основной учебный материал курса физики разделен на две части. Первый раздел второй части посвящен рассмотрению вопросов волновой оптики и квантовой механики.

Илл. 4; табл. 1

Рецензент
Доцент кафедры автоматики и электротехники
В.С. Дериновский

УДК 535
ББК 22.34

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА ФИЗИКИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ЗАОЧНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ ВУЗОВ

Оптика, квантовая и ядерная физика

1. Электромагнитные волны. Волновые свойства света. Интерференция волн. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Электромагнитная природа света. Поляризация света.
3. Тепловое излучение и его характеристики. Законы теплового излучения. Оптическая пирометрия.
4. Фотоэффект. Законы фотоэффекта. Уравнение фотоэффекта.
5. Планетарная модель атома. Постулаты Бора. Линейчатые спектры и закономерности в них. Боровская модель атома водорода.
6. Гипотеза де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм. Принцип неопределенностей Гейзенберга. Уравнение Шредингера. Квантовые числа.
7. Лазеры. Распределение Больцмана. Вынужденное излучение. Инверсное состояние квантовой системы. Рубиновый и газовый лазер.
8. Элементы ядерной физики. Состав атомного ядра. Ядерные силы. Энергия связи ядра.
9. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада.
10. Ядерные реакции и законы сохранения. Ядерная цепная реакция. Термоядерные реакции.

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики: В 5 кн.: учеб. пособ. / И.В. Савельев. – М.: АСТ: Астрель, 2004.
2. Фриш С.Э. Курс общей физики: учебник. В 3-х т / С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. – СПб.: Лань, 2007. – Т. 1, 2, 3.
3. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа.
4. Волькенштей В.С. Сборник задач по общему курсу физики: для студентов техн. вузов. – СПб.: Книжный мир, 2007.
5. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики с решениями: учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 2008.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

1. За время изучения курса общей физики студент-заочник должен представить в учебное заведение четыре контрольные работы.
2. Номера задач, которые студент должен включить в свою контрольную работу, определяются по таблице вариантов.
3. Контрольные работы нужно выполнить чернилами в школьной тетради, на обложке которой необходимо четко привести следующие сведения: фамилию, имя, отчество; факультет, шифр, подробный адрес, номер выполняемой контрольной работы.
4. Условия задач в контрольной работе надо переписать полностью без сокращений. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставлять поля.
5. В конце контрольной работы указать, каким учебным пособием или учебником студент пользовался при изучении физики (название учебника, автор, год издания). Это делается для того, чтобы рецензент в случае необходимости мог указать, что следует студенту изучить для завершения контрольных работ.
6. Высылать на рецензию следует одновременно не более одной работы. Во избежание одних и тех же ошибок очередную работу следует высылать только после получения рецензии на предыдущую.
7. Если контрольная работа при рецензировании не зачтена, студент обязан представить ее на повторную рецензию, включив в нее те задачи, решения которых оказались неверными. Повторную работу необходимо представить вместе с незачтенной.
8. Зачтенные контрольные работы предъявляются экзаменатору. Студент должен быть готов во время экзамена дать пояснения по существу решения задач, входящих в контрольные работы.
9. Решения задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями; в тех случаях, когда это возможно, дать чертеж, выполненный с помощью чертежных принадлежностей.
10. Решить задачи надо в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи. При таком способе решения не производятся вычисления промежуточных величин.
11. После получения расчетной формулы для проверки правильности ее следует подставить в правую часть формулы вместо символов величин обозначения единиц этих величин, произвести с ними необходимые действия и убедиться в том, что полученная при этом

единица соответствует искомой величине. Если никакого соответствия нет, то это означает, что задача решена неверно.

12. Числовые значения величин при подстановке их в расчетную формулу следует выражать только в единицах СИ. В виде исключения допускается выражать в любых, но одинаковых единицах числовые значения однородных величин, стоящих в числителе и знаменателе дроби и имеющих одинаковые степени.

13. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 3520 надо записать $3{,}52\cdot 10^3$, вместо 0,00129 записать $1{,}29\cdot 10^{-3}$ и т.п.

14. Вычисления по расчетной формуле надо проводить с соблюдением правил приближенных вычислений («Задачник» по физике А.Г. Чертова, А.А. Воробьева Приложение о приближенных вычислениях). Как правило, окончательный ответ следует записывать с тремя значащими цифрами. Это относится и к случаю, когда результат получен с применением калькулятора.

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Скорость света в среде:

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

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

Оптическая длина пути световой волны:

$$L = n \cdot l,$$

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

Оптическая разность хода двух световых волн:

$$\Delta = L_1 - L_2.$$

Зависимость разности фаз $\Delta\varphi$ от оптической разности хода световых волн:

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{\Delta}{\lambda},$$

где λ – длина световой волны.

Условие максимального усиления света при интерференции:

$$\Delta = \pm k\lambda \qquad (k = 0, 1, 2\ldots).$$

Условие максимального ослабления света:

$$\Delta = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}\ .$$

Оптическая разность хода световых волн, возникающая при отражении монохроматического света от тонкой пленки:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - Sin^2 i_1} \pm \frac{\lambda}{2} \ \text{ или } \quad \Delta = 2dnCos(i_2) \pm \frac{\lambda}{2}\ ,$$

где d – толщина пленки; n – показатель преломления пленки; i_1 – угол падения; i_2 – угол преломления света в пленке. Внимание, эта формула справедлива для пленок, по обе стороны которых располагаются среды с меньшей плотностью, например для мыльных пленок (по обе стороны пленки воздух). Если по одну сторону пленки лежит менее плотная среда, а по другую – более плотная, например, для пленки бензина на поверхности воды (лежащей между воздухом и водой), полимерной пленки на поверхности стекла (лежащей между воздухом и стеклом), следует пользоваться формулами:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \mathrm{Sin}^2 i_1} \qquad \text{или} \quad \Delta = 2dn\,\mathrm{Cos}\, i_2 .$$

Радиус светлых колец Ньютона в отраженном свете:

$$r_k = \sqrt{(2k-1)\frac{R\lambda}{2}} \quad (k = 1, 2, 3\ldots),$$

где k – номер кольца; R – радиус кривизны линзы.

Радиус темных колец Ньютона в отраженном свете:

$$r_k = \sqrt{kR\lambda}\ .$$

Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции на одной щели, определяется из условия:

$$a\,\mathrm{Sin}\,\varphi = \pm k\lambda\ ,$$

где a – ширина щели; k – порядковый номер максимума.

Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции света на дифракционной решетке, определяется из условия:

$$d\,\mathrm{Sin}\,\varphi = \pm k\lambda\ ,$$

где d – период дифракционной решетки.

Разрешающая способность дифракционной решетки:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN$$

где $\Delta\lambda$ – наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и $\lambda+\Delta\lambda$), при которой эти линии могут быть видны раздельно в спектре, полученном посредством данной решетки; N – полное число щелей решетки.

Формула Вульфа-Брэггов:

$$2d\,\mathrm{Sin}\,\theta = k\lambda,$$

где θ – угол скольжения (угол между направлением параллельного пучка рентгеновского излучения, падающего на кристалл, и атомной плоскостью в кристалле); d – расстояние между атомными плоскостями кристалла.

Закон Брюстера:

$$\mathrm{tg}\,\varepsilon_{Б} = n_{21},$$

где $\varepsilon_{Б}$ – угол падения, при котором отразившийся от диэлектрика луч полностью поляризован; n_{21} – относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

Закон Малюса:

$$J = J_0\,\mathrm{Cos}^2\,\alpha,$$

где J_0 – интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; J – интенсивность этого света после анализатора; α – угол между направлением колебаний электрического вектора света, падающего на анализатор, и плоскостью пропускания анализатора (если колебания электрического вектора падающего света совпадает с этой плоскостью, то анализатор пропускает данный свет без ослабления). Угол поворота плоскости поляризации монохроматического света при прохождении через оптически активное вещество:

а) $\varphi = \alpha \cdot d$, (в химически однородных телах)

где α – постоянная вращения; d – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;

б) $\varphi = \alpha \cdot c \cdot d$, (в растворах)

где α – удельное вращение; c – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

Релятивистская масса:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}} \quad \text{или} \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}},$$

где m_0 – масса покоя частицы; υ – ее скорость; c – скорость света в вакууме; β – скорость частицы, выраженная в долях скорости света ($\beta = \upsilon/c$).

Взаимосвязь массы и энергии релятивистской частицы:

$$E = m \cdot c^2 \quad \text{или} \quad E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{E_0}{\sqrt{1-\beta^2}},$$

где E_0 – энергия покоя частицы.

Полная энергия свободной частицы:

$$E = E_0 + E_k,$$

где E_k – кинетическая энергия релятивистской частицы.

Кинетическая энергия релятивистской частицы:

$$E_k = (m - m_0)c^2 \quad \text{или} \quad E_k = E_0\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right).$$

Импульс релятивистской частицы:

$$p = \frac{m_0 u}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}} \quad \text{или} \quad p = \frac{m_0 c\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}.$$

Связь между полной энергией и импульсом релятивистской частицы:

$$E^2 = E_0^2 + (pc)^2.$$

Закон Стефана-Больцмана:

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

где R_e – энергетическая светимость абсолютно черного тела; σ – постоянная Стефана-Больцмана; T – температура по шкале Кельвина.

Закон смещения Вина:

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

где λ_m – длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения, b – постоянная Вина.

Энергия фотона:

$$E = h\nu \qquad \text{или} \qquad E = \hbar\omega,$$

где h – постоянная Планка; $\hbar$ – постоянная Планка, деленная на 2π; ν– частота фотона;ω – циклическая частота.

Масса фотона:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h}{c\lambda},$$

где c – скорость света в вакууме; λ – длина волны фотона.

Импульс фотона:

$$p = mc = \frac{h}{\lambda}.$$

Формула Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + E_{\max} = A + \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2},$$

где $h\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла; A – работа выхода электрона; $E_{\max}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

Красная граница фотоэффекта:

$$\nu_0 = \frac{A}{h} \qquad \text{или} \qquad \lambda_0 = \frac{hc}{A},$$

где ν_0 – минимальная частота света, при которой еще возможен фотоэффект; λ_0 – максимальная длина волны света, при которой еще возможен фотоэффект; h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме.

Формула Комптона:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}\left(1 - \mathrm{Cos}\,\theta\right) \text{ или } \Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\frac{h}{m_0 c}\mathrm{Sin}^2\frac{\theta}{2},$$

где λ – длина волны фотона, встретившегося со свободным или слабо связанным электроном; λ' – длина волны фотона, рассеянного на угол θ после столкновения с электроном; m_0 – масса покоящегося электрона.

Комптоновская длина волны:

$$\Lambda = \frac{h}{m_0 c} = 2{,}436 \cdot \text{пм}.$$

Давление света при нормальном падении на поверхность:

$$P = E_e \frac{(1+\rho)}{c} = w \cdot (1+\rho)$$

где E_e – энергетическая освещенность (облученность); w– объемная плотность энергии излучения; ρ – коэффициент отражения.

Примеры решения задач

Пример 1. От двух когерентных источников S_1 и S_2 (λ = 0.8 мкм) лучи попадают на экран. На экране наблюдается интерференционная картина. Когда на пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили мыльную пленку (показатель преломления n = 1.33), интерференционная картина изменилась на противоположную. При какой наименьшей толщине пленки это возможно?

Решение. Изменение интерференционной картины на противоположную означает, что на тех участках экрана, где наблюдались интерференционные максимумы, стали наблюдаться интерференционные минимумы. Такой сдвиг интерференционной картины возможен при изменении оптической разности хода пучков световых волн на нечетное число половин длин волн, т.е.

$$\Delta_2 - \Delta_1 = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \tag{1}$$

где Δ_1 – оптическая разность хода пучков световых волн до внесения пленки; Δ_2 – оптическая разность хода тех же пучков после внесения пленки; k = 0, ±1, ±2, … .

Наименьшей толщине пленки $l_{\min}$ соответствует k = 0. При этом формула (1) примет вид:

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \frac{\lambda}{2} \tag{2}$$

Выразим оптические разности хода Δ_2 и Δ_1. Из рис.1 следует:

$$\Delta_1 = l_1 - l_2; \Delta_2 = \left[(l_1 - d_{\min}) + nd_{\min}\right] - l_2 = (l_1 - l_2) + d_{\min}(n-1).$$

Подставим выражения Δ_1 и Δ_2 в формулу (2):

$$(l_1 - l_2) + d_{\min}(n-1) - (l_1 - l_2) = \frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad d_{\min}(n-1) = \frac{\lambda}{2}.$$

Отсюда $d_{\min} = \dfrac{\lambda}{2(n-1)}$.

Произведем вычисления:

$$d_{\min} = \frac{0{,}8}{2 \cdot (1{,}33 - 1)} мкм = 1{,}21 мкм.$$

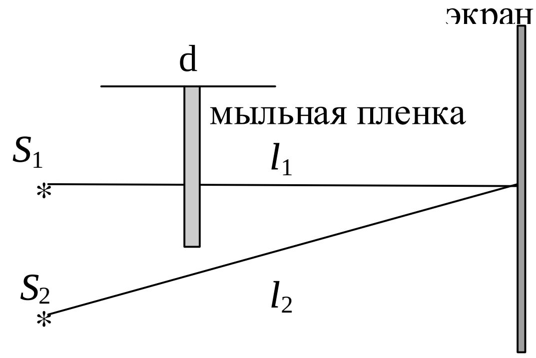

Рис.1

Пример 2. На стеклянный клин с малым углом нормально к его грани падает параллельный пучок лучей монохроматического света с длиной волны λ = 0.6 мкм. Число возникающих при этом интерференционных полос, приходящихся на отрезок клина длиной l, равно 10. Определить угол α клина.

Решение. Параллельный пучок света, падая нормально к грани клина, отражается как от верхней, так и от нижней грани. Эти отраженные пучки света когерентны. Поэтому на поверхности клина будут наблюдаться интерференционные полосы. Так как угол клина мал, то отраженные пучки 1 и 2 света (рис. 2) будут практически параллельны.

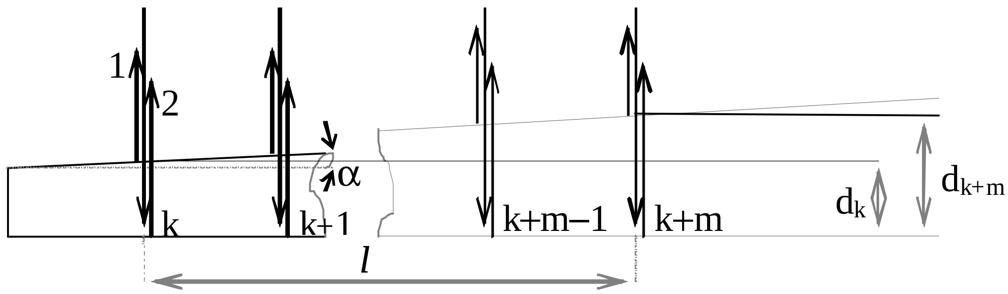

Рис.2

Темные полосы видны на тех участках клина, для которых разность хода лучей кратна нечетному числу половин длин волн:

$$\Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \qquad (k = 0, \pm 1, \pm 2 \ldots). \tag{1}$$

Разность хода Δ двух волн складываются из разности оптических длин путей этих волн $2dn\cos\beta$ и половины длины волны $\frac{\lambda}{2}$. Величина $\frac{\lambda}{2}$ представляет собой добавочную разность хода, возникающую при отражении световой волны 1 от оптически более плотной среды. Подставляя в формулу (1) разность хода Δ световых волн, получаем:

$$2d_k n\mathrm{Cos}\beta + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \qquad (2)$$

где n – показатель преломления свекла (n = 1,5); d_k – толщина клина в том месте, где наблюдается темная полоса, соответствующая номеру k; β – угол преломления.

Согласно условию, угол падения равен нулю, следовательно, и угол преломления β равен нулю, а $\mathrm{Cos}\beta = 1$. Раскрыв скобки в правой части равенства (2), после упрощения получим:

$$2d_k n = k\lambda. \qquad (3)$$

Пусть произвольной темной полосе k-го номера соответствует толщина клина d_k, а темной полосе k+m-го номера толщина клина d_{k+m}. Тогда (рис. 2), учитывая, что m полос укладывается на расстоянии l, найдем:

$$\mathrm{Sin}\,a = \frac{(d_{k+m} - d_k)}{l} \qquad (4)$$

Выразим из формулы (3) d_k и d_{k+m} и подставим их в формулу (4). Затем, учитывая, что $\mathrm{Sin}\alpha \approx \alpha$ (из-за малости угла α), получим:

$$\alpha = \frac{(k+m)\lambda - k\lambda}{2nl} = \frac{m\lambda}{2nl}.$$

Подставляя значения физических величин, найдем:

$$\alpha = \frac{10 \cdot 0{,}6 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 1{,}5 \cdot 1}\text{рад} = 2 \cdot 10^{-4}\,\text{рад}.$$

Выразим α в секундах. Для этого можно воспользоваться соотношением между радианом и секундой: 1 рад = 206265″ ≈ 2.06·10^{5}″. Тогда:

$$\alpha = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 2{,}06 \cdot 10^{5}\,'' = 41{,}2''$$

Пример 3. На дифракционную решетку в направлении нормали к ее поверхности падает монохроматический свет. Период решетки d =2 мкм. Определить наибольший порядок дифракционного максимума, который дает эта решетка в случае красного (λ_1 = 0,7 мкм) и в случае фиолетового (λ_2 = 0,41 мкм) света.

Решение. Из формулы, определяющей положение главных максимумов дифракционной решетки, найдем порядок m дифракционного максимума:

$$m = \frac{d\,\mathrm{Sin}\varphi}{\lambda} \qquad (1)$$

где d – период решетки; φ – угол дифракции; λ – длина волны монохроматического света. Так как Sinφ не может быть больше 1, то число m не может быть больше $\frac{d}{\lambda}$, т.е.

$$m \le \frac{d}{\lambda} \qquad (2)$$

Подставив в формулу (2) значения величин, получим:

$$m \le \frac{2}{0{,}7} = 2{,}86 \text{ (для красных лучей);}$$

$$m \le \frac{2}{0{,}41} = 4{,}88 \text{ (для фиолетовых лучей).}$$

Если учесть, что порядок максимумов является целым числом, то для красного света $m_{max} = 2$, и для фиолетового $m_{max} = 4$.

Пример 4. Пучок естественного света падает на полированную поверхность стеклянной пластины, погруженной в жидкость. Отраженный от пластины пучок света образует угол φ = 97° с падающим пучком (рис. 3). Определить показатель преломления n_1 жидкости, если отраженный свет максимально поляризован.

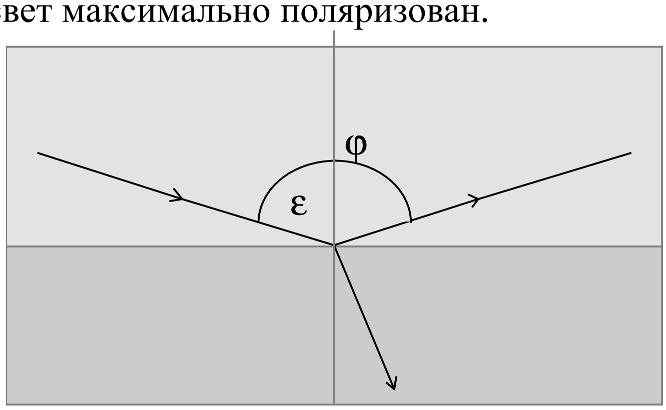

Рис.3

Решение. Согласно закону Брюстера, пучок света, отраженный от диэлектрика, максимально поляризован в том случае, если тангенс угла падения численно равен относительному показателю преломления $\mathrm{tg}\,\varepsilon = n_{21}$, где n_{21} – показатель преломления второй среды (стекла) относительно первой (жидкости).

Относительный показатель преломления равен отношению абсолютных показателей преломления. Следовательно, $\mathrm{tg}\,\varepsilon = \frac{n_2}{n_1}$.

Так как угол падения равен углу отражения, то $\varepsilon = \dfrac{\varphi}{2}$ и следовательно: $\mathrm{tg}\dfrac{\varphi}{2} = \dfrac{n_2}{n_1}$, откуда $n_1 = \dfrac{n_2}{\mathrm{tg}\dfrac{\varphi}{2}}$.

Произведем вычисления: $n_1 = \dfrac{1{,}5}{\mathrm{tg}\dfrac{97^\circ}{2}} = \dfrac{1{,}5}{1{,}13} = 1{,}33$.

Пример 5. Два поляроида P и A расположены так, что угол между их плоскостями пропускания составляет α = 60°. Определить, во сколько раз уменьшится интенсивность естественного света: 1) при прохождении через один поляроид; 2) при прохождении через оба поляроида. Коэффициент поглощения света в поляроиде k = 0,05. Потери на отражение света не учитывать.

Решение 1. Естественный свет, проходя через поляроид P, становится поляризованным. При этом световые колебания перпендикулярные плоскости пропускания поляроида гасятся, тогда, как колебания параллельные этой плоскости не подавляются. Таким образом, интенсивность света J_1, прошедшего через первый поляроид, без учета поглощения составит половину интенсивности естественного света J_0. Приняв во внимание поглощение света, получим:

$$J_1 = \frac{1}{2} J_0 (1 - k).$$

Относительное уменьшение интенсивности света получим, разделив интенсивность J_0 естественного света, падающего на первый поляроид, на интенсивность J_1 поляризованного света:

$$\frac{J_0}{J_1} = \frac{2J_0}{J_0(1-k)} = \frac{2}{1-k}. \qquad (1)$$

Произведем вычисления:

$$\frac{J_0}{J_1} = \frac{2}{1 - 0{,}05} = 2{,}1.$$

Таким образом, интенсивность уменьшается в 2,1 раза.

2. Плоскополяризованный пучок света интенсивностью J_1 падает на второй поляроид. Интенсивность пучка, вышедшего из поляроида A, определяется законом Малюса (без учета поглощения света во втором поляроиде):

$$J_2 = J_1 \operatorname{Cos}^2 \alpha,$$

где α – угол между плоскостью колебаний в поляризованном пучке и плоскостью пропускания поляроида.

Учитывая потери интенсивности на поглощение во втором поляроиде, получим:

$$J_2 = J_1(1-k)\operatorname{Cos}^2 \alpha$$

Искомое уменьшение интенсивности при прохождении света через оба поляроида найдем, разделив интенсивность J_0 естественного света на интенсивность J_2 света, прошедшего систему из двух поляроидов:

$$\frac{J_0}{J_2} = \frac{J_0}{J_1(1-k)\operatorname{Cos}^2 a}$$

Заменяя отношение $\frac{J_0}{J_1}$ его выражением по формуле (1), получаем:

$$\frac{J_0}{J_2} = \frac{2}{(1-k)^2 \operatorname{Cos}^2 \alpha}.$$

Произведем вычисления:

$$\frac{J_0}{J_2} = \frac{2}{(1-0{,}05)^2 \operatorname{Cos}^2 60^{\circ}} = 8{,}86.$$

Таким образом, после прохождения света через два поляроида интенсивность его уменьшится в 8,86 раза.

Пример 6. Плоскополяризованный монохроматический пучок света падает на поляроид и полностью им гасится. Когда на пути пучка поместили кварцевую пластину, интенсивность J пучка света после поляроида стала равна половине интенсивности пучка J_0, падающего на поляроид. Определить минимальную толщину кварцевой пластины. Поглощением и отражением света поляроидом пренебречь, постоянную вращения кварца α принять равной 48,9 град/мм.

Решение. Полное гашение света поляроидом означает, что плоскость пропускания поляроида (штриховая линия на рис. 4) перпендикулярна плоскости колебаний (I-I) плоскополяризованного света, падающего на него. Введение кварцевой пластины приводит к повороту плоскости колебаний света на угол:

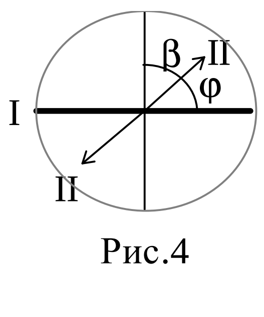

Рис.4

$$\varphi = \alpha \cdot l, \tag{1}$$

где l – толщина пластины. Зная, во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении его через поляроид, определим угол β, который установится между плоскостью пропускания поляроида и новым направлением (П-П) плоскости колебаний падающего на поляроид плоскополяризованного света. Для этого воспользуется законом Малюса:

$$J = J_0 \operatorname{Cos}^2 \beta .$$

При $\beta = \dfrac{\pi}{2} - \varphi$ можно написать:

$$J = J_0 \operatorname{Cos}^2\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) \text{ или } J = J_0 \operatorname{Sin}^2 \varphi . \tag{2}$$

Из равенства (2) с учетом равенства (1) получим:

$$\alpha \cdot l = \arcsin\sqrt{\frac{J}{J_0}},$$

откуда искомая толщина пластины:

$$l = \frac{1}{\alpha}\arcsin\sqrt{\frac{J}{J_0}} .$$

Произведем вычисления во внесистемных единицах:

$$l = \frac{1}{48{,}9}\arcsin\sqrt{\frac{1}{2}} \cdot мм = \frac{45}{48{,}9} \cdot мм = 0{,}92 \cdot мм .$$

Пример 7. Определить импульс и кинетическую энергию электрона, движущегося со скоростью $u = 0{,}9c$, где c – скорость света в вакууме.

Решение. Импульсом частицы называется произведение массы частицы на ее скорость:

$$p = mu . \tag{1}$$

Так как скорость электрона близка к скорости света, то необходимо учесть зависимость массы от скорости, определяемую по формуле:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \tag{2}$$

где m – масса движущейся частицы; m_0 – масса покоящейся частицы; $\beta = \upsilon / c$ – скорость частицы, выраженная в долях скорости света.

Заменив в формуле (1) массу m ее выражением (2) и приняв во внимание, что $\upsilon = c\beta$, получим выражение для релятивистского импульса:

$$p = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} c\beta \qquad (3)$$

Произведем вычисления:

$$p = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31}}{\sqrt{1-0{,}81}} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 0{,}9 \textit{кг} \cdot \textit{м}/\textit{с} = 5{,}6 \cdot 10^{-22} \textit{кг} \cdot \textit{м}/\textit{с}$$

В релятивистской механике кинетическая энергия E_k частицы определяется как разность между полной энергией E и энергией покоя E_0 этой частицы, т.е. $E_k = E - E_0$. Так как $E = mc^2$ и $E_0 = m_0 c^2$, то учитывая зависимость массы от скорости, получаем:

$$E_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} - m_0 c^2 \qquad \text{или} \qquad E_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right).$$

Произведем вычисления:

$$E_k = 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot \left(3 \cdot 10^8\right)^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-0{,}81}} - 1 \right) \cdot \textit{Дж} = 1{,}06 \cdot 10^{-13} \cdot \textit{Дж}.$$

Так как во внесистемных единицах $m_0 c^2$ = 0,51 МэВ, то вычисления упрощаются:

$$E_k = 0{,}51 \cdot 1{,}29 \cdot \textit{Мэв} = 0{,}66 \cdot \textit{Мэв}.$$

<u>Пример 8.</u> Определить релятивистский импульс электрона, обладающего кинетической энергией E_k = 5 МэВ.

<u>Решение.</u> Решение задачи сводится к установлению соотношения между релятивистским импульсом p частицы и ее кинетической энергией E_k.

Сначала установим связь между релятивистским импульсом и полной энергией частицы. Полная энергия E частицы прямо пропорциональна ее массе, т.е.

$$E = mc^2 \qquad (1)$$

Зависимость массы от скорости определяется формулой:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \qquad (2)$$

Заменив массу m в формуле (1) ее выражением (2) и приняв во внимание, что $E_0 = m_0 c^2$, получим:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{E_0}{\sqrt{1-\beta^2}}. \qquad (3)$$

Возведя обе части равенства (3) в квадрат, найдем:

$$E^2 = \frac{E_0^2}{1-\beta^2}, \qquad \text{откуда } E^2 - (E\beta)^2 = E_0^2. \qquad (4)$$

Очевидно, что $E\beta = mc^2 \frac{\upsilon}{c} = cm\upsilon = cp$.

Поэтому равенство (4) можно переписать в виде $E^2 - (cp)^2 = E_0^2$, откуда релятивистский импульс:

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{E^2 - E_0^2} = \frac{1}{c}\sqrt{(E-E_0)(E+E_0)}.$$

Разность между полной энергией и энергией покоя есть кинетическая энергия E_k частицы;. $E_k = E - E_0$ Легко убедиться, что $E + E_0 = E_k + 2E_0$, поэтому искомая связь между импульсом и кинетической энергией релятивистской частицы выразится формулой:

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{E_k (E_k + 2E_0)}.$$

Вычисления удобно провести в два приема: сначала найти числовое значение радикала во внесистемных единицах, а затем перейти к вычислению в единицах СИ. Таким образом:

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{5\cdot(5+2\cdot 0{,}51)}\cdot МэВ = \frac{5{,}5}{c}\cdot МэВ = \frac{5{,}5\cdot 1{,}6\cdot 10^{-13}}{3\cdot 10^8\ м/с}\cdot Дж = 2{,}93\cdot 10^{-21}\, кг\cdot м/с.$$

<u>Пример 9.</u> Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения черного тела, λ_m = 0,58 мкм. Определить энергетическую светимость (интегральную излучательную способность) поверхности тела.

<u>Решение.</u> Энергетическая светимость абсолютно черного тела в соответствии с законом Стефана-Больцмана пропорциональна четвертой степени термодинамической температуры и выражается формулой:

$$R_e = \sigma \cdot T^4, \qquad (1)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана; T – термодинамическая температура.

Температуру T можно вычислить с помощью закона смещения Вина:

$$\lambda_m = \frac{b}{T}, \qquad (2)$$

где b – постоянная закона смещения Вина.

Используя формулы (2) и (1), получаем:

$$R_e = \sigma \cdot \left(\frac{b}{\lambda_{\cdot m}} \right)^4 .$$

Произведем вычисления:

$$R_e = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{2{,}9 \cdot 10^{-3}}{5{,}8 \cdot 10^{-7}} \right)^4 \, Bm/м^2 = 3{,}54 \cdot 10^7 \, Bm/м^2 .$$

Пример 10. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра:
1) ультрафиолетовым излучением с длиной волны λ_1 = 0,155 мкм;
2) γ–излучением с длиной волны λ_2 = 1 нм.

Решение. Максимальную скорость фотоэлектронов можно определить из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\varepsilon = A + E_{\max}, \qquad (1)$$

где ε – энергия фотонов, падающих на поверхность металла; A – работа выхода; $E_{\max}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

Энергия фотона вычисляется также по формуле:

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}, \qquad (2)$$

где h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме; λ – длина волны.

Кинетическая энергия электрона может быть выражена или по классической формуле:

$$E_k = \frac{mu^2}{2}, \qquad (3)$$

или по релятивистской формуле:

$$E_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^{2}}} - 1 \right) \qquad (4)$$

в зависимости от того, какая скорость сообщается фотоэлектрону. Скорость фотоэлектрона зависит от энергии фотона, вызывающего фотоэффект: если энергия фотона много меньше энергии покоя $E_0 = m_0 c^2$ электрона, то может быть применена формула (3), если же сравним по величине с E_0, то вычисление по формуле (3) приводит к ошибке, поэтому нужно пользоваться формулой (4).

1. Вычислим энергию фотона ультрафиолетового излучения по формуле (2):

$$\varepsilon_1 = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{1{,}55 \cdot 10^{-7}}\,Дж = 1{,}28 \cdot 10^{-18}\,Дж, \qquad \text{или}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1{,}28 \cdot 10^{-18}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}}\,эВ = 8\,эВ$$

Полученная энергия фотона (8 эВ) много меньше энергии покоя электрона (0,51 Мэв). Следовательно, для данного случая кинетическая энергия фотоэлектрона в формуле (1) может быть выражена по классической формуле (3):

$$\varepsilon_1 = A + \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}, \quad \text{откуда}$$

$$\upsilon_{\max} = \sqrt{\frac{2(\varepsilon_1 - A)}{m_0}} \qquad (5)$$

Проверим, дает ли полученная формула единицу скорости. Для этого в правую часть формулы (5) вместо символов величин подставим обозначения единиц:

$$\upsilon_{\max} = \sqrt{\frac{2(\varepsilon_1 - A)}{m_0}} = \sqrt{\frac{1Дж}{1кг}} = \sqrt{\frac{1кг \cdot 1м^2/с^2}{1кг}} = 1м/с$$

Найденная единица является единицей скорости. Подставив значения величин в формулу (5), найдем:

$$u_{\max} = \sqrt{\frac{2(1{,}28 \cdot 10^{-18} - 0{,}75 \cdot 10^{-18})}{9{,}11 \cdot 10^{-31}}}\,м/с = 1{,}08 \cdot 10^{6}\,м/с$$

2. Вычислим энергию фотона γ–излучения:

$$\varepsilon_2 = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{10^{-12}}\,Дж = 1{,}99 \cdot 10^{-13}\,Дж$$

или во внесистемных единицах:

$$\varepsilon_2 = \frac{1{,}99 \cdot 10^{-13}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} \, эВ = 1{,}24 \cdot 10^6 \, эВ = 1{,}24 \, МэВ.$$

Работа выхода электрона (А=4,7 эВ) пренебрежимо мала по сравнению с энергией фотона (ε_2 = 1,24 МэВ), поэтому можно принять, что максимальная кинетическая энергия электрона равна энергии фотона $E_k = \varepsilon_2$ = 1,24 МэВ. Так как в данном случае кинетическая энергия электрона больше его энергии покоя, то для вычисления скорости электрона следует взять релятивистскую формулу кинетической энергии (4). Из этой формулы найдем:

$$\beta = \sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E_k + E_0}\right)^2}.$$

Заметив, что $\upsilon = c\beta$ и $E_k = E_{max}$, получим:

$$\upsilon_{max} = c\sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E_k + E_0}\right)^2}.$$

Произведем вычисления. Энергии E_0 и E_k входят в формулу в виде отношения, поэтому их можно не выражать в единицах СИ:

$$u_{max} = 3 \cdot 10^8 \sqrt{1 - \left(\frac{0{,}51}{1{,}24 + 0{,}51}\right)^2} \, м/с = 2{,}87 \cdot 10^8 \, м/с.$$

Пример 11. В результате эффекта Комптона фотон при соударении с электроном был рассеян на угол θ = 90°. Энергия рассеянного фотона E' = 0.4 МэВ. Определить энергию фотона E до рассеяния.

Решение. Для определения энергии первичного фотона воспользуемся формулой Комптона.

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\frac{h}{m_0 c}\mathrm{Sin}^2\frac{\theta}{2}, \qquad (1)$$

где $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ – изменение длины волны фотона в результате рассеяния на свободном электроне; h – постоянная Планка; m_0 – масса покоя электрона; c – скорость света в вакууме; θ – угол рассеяния фотона.

Преобразуем формулу (1): 1) выразим длины волн λ и λ' через энергии E и E' соответствующих фотонов, воспользовавшись формулой $E = \frac{hc}{\lambda}$; 2) умножим числитель и знаменатель правой части формулы на c. Тогда

$$\frac{hc}{E'}-\frac{hc}{E}=2\frac{hc}{m_0c^2}\mathrm{Sin}^2\frac{\theta}{2}$$

Сократим на hc и выразим из этой формулы искомую энергию:

$$E=\frac{E'm_0c^2}{m_0c^2-E'\cdot 2\mathrm{Sin}^2\frac{\theta}{2}}=\frac{E'E_0}{E_0-E'\cdot 2\mathrm{Sin}^2\frac{\theta}{2}}\ , \qquad (2)$$

где $E_0=m_0c^2$ – энергия покоя электрона.

Вычисления по формуле (2) удобнее вести во внесистемных единицах. Так как для электрона E_0 = 0,511 МэВ, то

$$E=\frac{0{,}4\cdot 0{,}511}{0{,}511-2\cdot 0{,}4\,\mathrm{Sin}\frac{90^\circ}{2}}\ МэВ=1{,}85\,МэВ.$$

<u>Пример 12.</u> Пучок монохроматического света с длиной волны λ = 663 нм падает нормально на зеркальную плоскую поверхность. Поток излучения Φ_e = 0,6 Вт. Определить: 1) силу давления, испытываемую этой поверхностью; 2) число фотонов, ежесекундно падающих на поверхность.

<u>Решение.</u> 1. Сила светового давления на поверхность равна произведению светового давления p на площадь поверхности S:

$$F=p\cdot S \qquad (1)$$

Световое давление может быть найдено по формуле:

$$p=E_e\frac{(1+\rho)}{c} \qquad (2)$$

где E_e – энергетическая освещенность; c – скорость света в вакууме; ρ – коэффициент отражения.

Подставляя правую часть выражения (2) в формулу (1), получаем:

$$F=E_eS\frac{(1+\rho)}{c}. \qquad (3)$$

Так как E_eS представляет собой поток излучения Φ_e, то

$$F=\Phi_e\frac{(1+\rho)}{c}. \qquad (4)$$

Произведем вычисления, учитывая, что для зеркальной поверхности ρ = 1:

$$F = 0{,}6\frac{(1+1)}{3\cdot 10^8}\ H = 4\ нН\ .$$

2. Произведение энергии E одного фотона на число фотонов n_1, ежесекундно падающих на поверхность, равно мощности излучения, т.е. потоку излучения: $\Phi_e = En_1$, а так как энергия фотона $E = \frac{hc}{\lambda}$, то

$$\Phi_e = \frac{hcn_1}{\lambda},$$

откуда

$$n_1 = \frac{\Phi_e\lambda}{hc}. \qquad (5)$$

Произведем вычисления:

$$n_1 = \frac{0{,}6\cdot 6{,}63\cdot 10^{-7}}{6{,}63\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^8}\ c^{-1} = 2\cdot 10^{18}\ c^{-1}$$

Контрольная работа № 3

В контрольной работе № 3 студент должен решить девять задач по приведенной ниже таблице вариантов: в таблице необходимо выбрать вариант, соответствующий последней цифре шифра. Например, если шифр 11-04-125, то из таблицы выбираются задачи 5-го варианта.

Таблица вариантов

Вариант	Номера задач								
0	310	320	330	340	350	360	370	380	390
1	301	311	321	331	341	351	361	371	381
2	302	312	322	332	342	352	362	372	382
3	303	313	323	333	343	353	363	373	383
4	304	314	324	334	344	354	364	374	384
5	305	315	325	335	345	355	365	375	385
6	306	316	326	336	346	356	366	376	386
7	307	317	327	337	347	357	367	377	387
8	308	318	328	338	348	358	368	378	387
9	309	319	329	339	349	359	369	379	389

301. Разность хода интерферирующих лучей монохроматического света $\Delta = 0{,}3\lambda$. Определить разность фаз колебаний.

302. На тонкую пленку в направлении нормали к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны λ = 500 нм. Отраженный от нее свет максимально усилен вследствие интерференции. Определить минимальную толщину пленки $d_{\min}$, если показатель преломления материала пленки n =1,4.

303. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом. Наблюдение ведется в отраженном свете. Радиусы двух соседних темных колец равны, соответственно, 4,0 и 4,3 мм. Радиус кривизны линзы равен 6,4 м. Найти порядковые номера колец и длину волны падающего света.

304. На стеклянную пластину положена выпуклой стороной плоско-выпуклая линза. Сверху линза освещена монохроматическим светом длиной волны λ = 500 нм. Найти радиус R линзы, если радиус четвертого темного кольца Ньютона в отраженном свете r_4 = 2 мм.

305. Найти все длины волн видимого света (от 0,76 до 0,38 мкм), которые будут: 1) максимально усилены; 2) максимально ослаблены при разности хода интерферирующих лучей Δ = 1,8 мкм.

306. На мыльную пленку (n = 1,3) падает нормально пучок лучей белого света. Какова наименьшая толщина пленки, если в отраженном свете она кажется зеленой (λ = 0,55 мкм) ?

307. На тонкий стеклянный клин падает нормально параллельный пучок света с длиной волны λ = 500 нм. Расстояние между соседними темными интерференционными полосами в отраженном свете b = 0,5 мм. Определить угол α между поверхностями клина. Показатель преломления стекла, из которого изготовлен клин, n =1,6.

308. Расстояние между вторым и первым темными кольцами Ньютона в отраженном свете b = 1 мм. Определить расстояние между десятым и девятыми кольцами b'.

309. На мыльную пленку (n = 1,33) падает белый свет под углом 45°. При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый цвет ($\lambda = 3\cdot10^{-7}$ м).

310. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается нормально падающим монохроматическим светом (λ = 590 нм). Радиус кривизны R линзы равен 5 см. Определить радиусы третьего светлого и пятого темного колец.

311. Какое наименьшее число $N_{\min}$ штрихов должна содержать дифракционная решетка, чтобы в спектре второго порядка можно было видеть раздельно две желтые линии натрия с длинами волн λ_1 = 589,0 нм и

λ_2 = 589,6 нм? Какова длина l такой решетки, если постоянная решетки d = 5 мкм?

312. На поверхность дифракционной решетки нормально к ее поверхности падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решетки в n = 4,6 раза больше длины световой волны. Найти общее число M дифракционных максимумов, которые теоретически можно наблюдать в данном случае.

313. На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок белого света. Спектры третьего и четвертого порядков частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре четвертого порядка накладывается граница (λ = 780 нм) спектра третьего порядка?

314. Чему равна постоянная дифракционной решетки, если для того, чтобы увидеть красную линию (λ = 700 нм) в спектре второго порядка, зрительную трубу пришлось установить под углом 30° к оси коллиматора? Свет падает на решетку нормально.

315. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения. Расстояние между атомными плоскостями равно d = 380 нм. Под углом θ = 65° к атомной плоскости наблюдается дифракционный максимум первого порядка. Определить длину λ рентгеновского излучения.

316. На непрозрачную пластину с узкой щелью падает нормально плоская монохроматическая световая волна (λ = 600 нм). Угол отклонения лучей, соответствующих второму дифракционному максимуму, φ = 20°. Определить ширину щели.

317. На щель падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ. Ширина щели равна a = 6λ. Под каким углом будет наблюдаться третий дифракционный минимум света?

318. Сколько штрихов на 1 мм длины имеет дифракционная решетка, если зеленая линия ртути (λ = 546,1 нм) в спектре первого порядка наблюдается под углом 19°8′?

319. Постоянная дифракционной решетки в n=4 раза больше длины волны монохроматического света, нормально падающего на ее поверхность. Определить угол между двумя первыми симметричными дифракционными максимумами.

320. Расстояние между штрихами дифракционной решетки d = 4 мкм. На решетку падает нормально свет с длиной волны λ = 0,58 мкм. Максимум какого наибольшего порядка дает эта решетка?

321. Пластинку кварца толщиной d = 2 мм поместили между параллельными поляроидами. В результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на угол φ = 53°. Какой наименьшей

толщины следует взять пластинку, чтобы поле зрения поляриметра стало совершенно темным?

322. Параллельный пучок света переходит из глицерина в стекло так, что пучок, отраженный от границы раздела этих сред, оказывается максимально поляризованным. Определить угол γ между падающим и преломленным пучками.

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

324. При прохождении света через трубку длиной l_1 = 20 см, содержащую раствор сахара концентрации c_1 = 10%, плоскость поляризации света повернулась на угол φ_1 = 13,3°. В другом растворе сахара, налитом в трубку длиной l_1 =15 см, плоскость поляризации повернулась на угол φ_2 =5,2°. Определить концентрацию c_2 второго раствора.

325. Определить угол полной поляризации при отражении света от стекла, показатель преломления которого равен 1,57.

326. Угол падения ε_1 луча на поверхность стекла равен 60°. При этом отраженный пучок света оказался максимально поляризованным. Определить угол ε_2 преломления луча.

327. Под каким углом α к горизонту должно находиться Солнце, чтобы его лучи, отраженные от поверхности озера, были наиболее полно поляризованы?

328. Пучок света, идущий в стеклянном сосуде с глицерином, отражается от дна сосуда. При каком угле ε падения отраженный пучок света максимально поляризован?

329. Пучок света переходит из жидкости в стекло. Угол падения ε_1 пучка равен 60°, угол преломления ε_2 = 50°. При каком угле падения $\varepsilon_Б$ пучок света, отраженный от границы раздела этих сред, будет максимально поляризован?

330. Пучок света падает на плоскопараллельную стеклянную пластину, нижняя поверхность которой находится в воде. При каком угле падения $\varepsilon_Б$ свет, отраженный от границы стекло–вода, будет максимально поляризован?

331. Частица движется со скоростью $u = \frac{c}{3}$, где c – скорость света в вакууме. Какую долю энергии покоя составляет кинетическая энергия частицы?

332. Масса движущегося электрона вдвое больше его массы покоя. Найти кинетическую энергию этого электрона.

333. При какой скорости β (в долях скорости света) релятивистская масса любой частицы вещества в $n = 3$ раза больше массы покоя?

334. Электроны, вылетающие из циклотрона, обладают кинетической энергией 0,67 МэВ. Какую долю скорости света составляет скорость этих электронов?

335. Скорость электрона $\upsilon = 0{,}8c$ (где c – скорость света в вакууме). Зная энергию покоя E_0 электрона в МэВ, определить в тех же единицах кинетическую энергию E_k электрона.

336. Какую долю скорости света должна составлять скорость частицы, чтобы ее кинетическая энергия была равна ее энергии покоя?

337. Во сколько раз релятивистская масса m электрона, обладающего кинетической энергией E_k = 1,53 МэВ, больше массы покоя m_0?

338. Какую скорость β (в долях скорости света) нужно сообщить частице, чтобы ее кинетическая энергия была равна удвоенной энергии покоя?

339. Релятивистский электрон имел импульс $p_1 = m_0 c$. Определить конечный импульс p_2 этого электрона (в единицах $m_0 c$), если его полная энергия увеличилась в $n = 2$ раза.

340. Синхрофазотрон дает пучок протонов с кинетической энергией $E_k = 10^4$ МэВ. Какую долю β скорости света составляет скорость протонов в этом пучке?

341. При какой температуре энергетическая светимость абсолютно черного тела R_e = 10 кВт/м^2 ?

342. Черное тело имеет температуру T_1 = 500 К. Какова будет температура T_2 тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в $n = 5$ раз?

343. Температура абсолютно черного тела T = 2 кК. Определить длину волны λ_m, на которую приходится максимум энергии излучения тела.

344. Определить температуру T и энергетическую светимость R_e абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны λ_m = 600 нм.

345. На сколько процентов увеличится энергетическая светимость абсолютно черного тела, если его температура увеличится на 1%?

346. Какова должна быть температура абсолютно черного тела, чтобы максимум энергии излучения приходился на красную границу видимого спектра (λ_m = 760 нм)? На фиолетовую (λ_m = 380 нм)?

347. Как и во сколько раз изменится поток излучения черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра (λ_m = 780 нм) на фиолетовую (λ_m = 390 нм)?

348. Максимум энергии излучения Солнца приходится на длину волны 470 нм. Считая, что Солнце излучает как абсолютно черное тело, определить температуру фотосферы.

349. На какую длину волны приходится максимум излучательной способности абсолютно черного тела, имеющего температуру, равную температуре человеческого тела, т.е. t = 37° С.

350. Температура поверхности белых карликов порядка 10^4 К. В каком участке спектра лежит максимум излучения?

351. Красная граница фотоэффекта для цинка λ_0 = 310 нм. Определить максимальную кинетическую энергию E_{max} фотоэлектронов, если на цинк падает свет с длиной волны λ = 200 нм.

352. На поверхность калия падает свет с длиной волны λ = 150 нм. Определить максимальную кинетическую энергию E_{max} фотоэлектронов.

353. Фотон с энергией E = 10 эВ падает на серебряную пластинку и вызывает фотоэффект. Определить импульс p, полученный пластинкой, если принять, что направления движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной поверхности пластин.

354. На фотоэлемент с катодом из лития падает свет с длиной волны λ = 200 нм. Найти наименьшее значение U_{min} задерживающей разности потенциалов, которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок.

355. Какова должна быть длина волны γ–излучения, падающего на платиновую пластину, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была $\upsilon_{max} = 3\ 10^6$ м/с?

356. На металлическую пластину направлен пучок ультрафиолетового излучения (λ = 0,25 мкм). Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов U_{min} = 0,96 В. Определить работу выхода A электронов из металла.

357. На поверхность металла падает монохроматический свет с длиной волны λ = 0,1 мкм. Красная граница фотоэффекта λ_0 = 0,3 мкм. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?

358. На металл падает рентгеновское излучение с длиной волны λ = 1 нм. Пренебрегая работой выхода, определить максимальную скорость υ_{max} электрона.

359. На металлическую пластину направлен монохроматический пучок света с частотой $\nu = 7{,}3\ 10^{14}$ Гц. Красная граница фотоэффекта для

данного материала равна 560 нм. Определить максимальную скорость υ_{max} фотоэлектронов.

360. На цинковую пластину направлен монохроматический пучок света. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов U = 1,5 В. Определить длину волны λ света, падающего на пластину.

361. Найти массу фотона рентгеновских лучей (λ = 0,025 нм).

362. Рентгеновское излучение (λ = 1 нм) рассеивается свободными электронами. Определить максимальную длину λ_{max} волны рентгеновского излучения в рассеянном пучке.

363. Определить массу фотона, если соответствующая ему длина волны равна λ = 1,6 пм.

364. Определить максимальное изменение длины волны $\Delta\lambda_{max}$ при комптоновском рассеянии света на свободных электронах и свободных протонах.

365. Фотон с длиной волны λ_1 = 15 пм рассеялся на свободном электроне. Длина волны рассеянного фотона λ_2 = 16 пм. Определить угол θ рассеяния.

366. Какую энергию должен иметь фотон, чтобы его масса была равна массе покоя электрона?

367. В результате эффекта Комптона фотон с энергией E_1 = 1,02 МэВ рассеян на свободных электронах на угол θ =150°. Определить энергию E_2 рассеянного фотона.

368. Найти массу фотона гамма–лучей (λ =1,24 пм).

369. Фотон с энергией E_1 = 0,51 МэВ в результате рассеяния на свободном электроне потерял половину своей энергии. Определить угол рассеяния θ.

370. Найти массу фотона красных лучей света (λ =7 10^{-7} м).

371. Определить энергетическую освещенность E_e зеркальной поверхности, если давление p, производимое изучением, равно 40 мкПа. Излучение падает нормально к поверхности.

372. Найти энергию, массу и импульс фотона ультрафиолетового излучения с длиной волны 280 нм.

373. Определить коэффициент отражения ρ поверхности, если при энергетической освещенности E_e = 120 Вт/м^2 давление света на нее оказалось равным p = 0,5 мкПа.

374. Давление света, производимое на зеркальную поверхность p = 5 мПа. Определить энергетическую освещенность E_e поверхности.

375. Энергетическая освещенность зеркальной поверхности равна $E_e = 10^3$ Вт/м^2. Определить силу светового давления на площадь $S = 1$ м^2 этой поверхности.

376. Пучок монохроматического света с длиной волны λ =500 нм падает нормально на зеркальную плоскую поверхность. Поток излучения $\Phi_e = 0{,}5$ Вт. Определить силу светового давления F, испытываемую этой поверхностью.

377. Определить коэффициент отражения ρ поверхности, если поток излучения, подающий на 1 мм^2 этой поверхности, равен $\Phi_e = 100$ мкВт. Световое давление равно $p = 5$ мкПа.

378. Определить световое давление на зачерненную поверхность при энергетической освещенности $E_e = 300$ Вт/м^2.

379. Определить энергетическую освещенность зеркальной поверхности, если световое давление при нормальном падении лучей $p = 9{,}81$ мкПа.

380. На зеркальную поверхность площадью $S = 6$ см^2 падает нормально поток излучения $\Phi_e = 0{,}8$ Вт. Определить световое давление на эту поверхность.

381. Свет от электрической лампочки силой в 200 Кд падает под углом 45^0 на рабочее место, создавая освещенность в 141 Лк. Найти: 1) на каком расстоянии от рабочего места находится лампочка; 2) на какой высоте она висит?

382. Определить полный световой поток, создаваемый точечным источником света, если на расстоянии 2 м от него освещенность 15 Лк.

383. Лампа с силой света 50 Кд расположена на расстоянии 2 м от поверхности стола. Освещенность стола 20 Лк. На какой высоте над столом подвешена лампа?

384. Определить силу света лампы, находящейся внутри матового плафона сферической формы, радиус которого 8 см. Яркость такого светильника 4480 нит, а коэффициент потерь 0,1.

385. На высоте 5 м над землей подвешены две лампы силой света 500 Кд каждая. Расстояние между лампами 10 м. Определить освещенность на поверхности земли под каждой лампой.

386. Над серединой круглого стола на высоте 2 м висит лампа силой света 200 Кд. Когда эту лампу заменили другой, подвешенной на высоте 1 м над столом, освещенность середины стола увеличилась в 3 раза. Определить силу света новой лампы.

387. Спираль электрической лампочки силой света 100 Кд заключена в сферическую колбу диаметром 10 см. Найти светимость и яркость лампы. Потерей света в оболочке колбы пренебречь.

388. На лист белой бумаги размером 20 см на 30 см нормально к поверхности падает световой поток в 120 Лм. Найти освещенность, светимость и яркость листа, если коэффициент рассеяния $\rho=0{,}75$.

389. Источник, сила света которого 200 Кд, подвешен на мачте высотой 8 м. На каком расстоянии от мачты освещенность горизонтальной поверхности земли равна 1,6 Лк?

390. В центре круглого стола диаметром 1,2 м имеется настольная лампа из одной электрической лампочки на высоте 40 см от поверхности стола. Над центром стола на высоте 2 м от его поверхности висит люстра из четырех таких же лампочек. В каком случае получится наибольшая освещенность на краю стола: когда горит настольная лампа или когда горит люстра? Во сколько раз отличаются освещенности в этих случаях?

Ф И З И К А

Часть II. Раздел I
ОПТИКА

Методические указания к решению задач и
контрольные задания по физике
для студентов заочников всех направлений подготовки

Составители: Ягунд Э.М., Хакимов А.М.