

дает счетчик по истечении времени $t = T_{1/2}/2$? Считать, что $T_{1/2}$ во много раз превышает десять секунд.

83. Некоторый радиоактивный изотоп имеет постоянную распада $\lambda = 4 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$. Через какое время t распадется 75 % первоначальной массы m атомов?

84. Найти массу m радона, активность которого $a = 3,7 \text{ Бк}$.

85. Какой изотоп образуется из ${}_{90}\text{Th}^{232}$ после четыре α -распадов и двух β -распадов?

86. Какой изотоп образуется из ${}_{92}\text{U}^{238}$ после трех α -распадов и двух β -распадов?

87. Какой изотоп образуется из ${}_{92}\text{U}^{239}$ после двух β -распадов и одного α -распада?

88. Определите число нуклонов и порядковый номер иония Ю , образовавшегося при двух α - и двух β -распадах урана ${}_{92}\text{U}^{238}$.

89. Какой изотоп образуется из ${}_3\text{Li}^8$ после одного β -распада и одного α -распада?

90. Какой изотоп образуется из ${}_{51}\text{Sb}^{133}$ после четырех β -распадов.

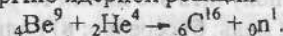
91. Найти энергию связи ядра атома алюминия ${}_{13}\text{Al}^{27}$.

92. Найти энергию связи, приходящуюся на один нуклон в ядре атома кислорода ${}_8\text{O}^{16}$.

93. Найти энергию, выделяющуюся при реакции



94. Вычислить энергию ядерной реакции



Освобождается или поглощается эта энергия?

95. Определить энергию β -распада ядра углерода.

96. Вычислить энергию ядерной реакции



Освобождается или поглощается эта энергия?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова Т. И. Курс физики. – М.: Высш. шк., 1994.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 2,3 – М.: Наука, 1987.
3. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. – М.: Наука, 1985.

Темплан 1998 г., п. 154

Лицензия № 020381 от 24.04.97. Подписано в печать 16.12.98.

Формат 60 x 84 1/16. Бумага типографская № 2. Офсетная печать.

Печ. л. 1,56. Уч.-изд. л. 1,56. Т. 120 экз. Заказ 345 Бесплатно

Брянский государственный технический университет

241035, Брянск, бульвар 50-летия Октября, 7, БГТУ

Лаборатория оперативной полиграфии БГТУ, ул. Институтская, 16.



МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

“УТВЕРЖДАЮ”

Ректор университета

В.Т.Бугласв

16 декабря 1998 г.

ФИЗИКА

Методические указания и контрольные задания
для студентов заочной формы обучения

Часть III. Оптика. Атомная и ядерная физика

БРЯНСК 1998

Методические указания помогут студенту, выбравшему дистанционную форму обучения, правильно подойти к изучению курса "Оптика. Атомная и ядерная физика". Издание содержит подробную программу курса. Это позволит сориентироваться в том обилии информации, которое встретится в любом учебном пособии по данному разделу. В методических указаниях имеются примеры решения задач, а также задания для контрольных работ № 5,6. Каждая контрольная работа оформляется в отдельной тонкой тетради. Прежде чем записывать решение задачи, необходимо написать полное условие, как это сделано в приведенных примерах. Вариант контрольной работы определяется по таблицам, имеющимся перед заданиями для контрольных работ.

"Программа раздела "Оптика. Атомная и ядерная физика"

Развитие представлений на природу света. Принцип Гюйгенса. Вывод законов отражения и преломления на основе волновых представлений. Полное отражение. Линзы. Погрешности линз. Интерференция света. Оптическая разность хода. Щели Юнга.

Интерференция в случае тонкой пленки. Полосы равной толщины. Интерферометры. Дифракция света. Принцип Френеля-Гюйгенса и прямолинейность распространения света.

Дифракция в случае круглого отверстия и круглого диска. Разрешающая способность оптических приборов. Дифракционная решетка. Дифракция рентгеновских лучей. Понятие о голографии.

Естественный и поляризованный свет. Закон Малюса. Поляризация при отражении и преломлении света. Двойное лучепреломление и его объяснение.

Поляризующие приборы. Понятие об интерференции поляризованного света. Искусственная анизотропия, анализ упругих напряжений. Эффект Керра. Вращение плоскости поляризации.

Тепловое излучение. Энергетическая светимость, испускательная и поглощательная способности тела. Абсолютно черное тело. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана и Вина. Распределение энергии в спектре абсолютно черного тела. "Ультрафиолетовая катастрофа", квантовая гипотеза и формула Планка.

Фотоэффект. опыты Герца и Столетова. Основные законы фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна. Масса и импульс фотона. Давление света и опыты Лебедева. Понятие об эффекте Комптона.

Опыт Резерфорда и ядерная модель атома. Закономерности спектров атомов. Несостоятельность классической теории атомов. Основные

положения теории Бора. Атом водорода и его спектр по теории Бора. Трудности теории Бора.

Корпускулярно-волновой дуализм материи. Формула де Бройля. Границы применимости классической физики и соотношение неопределенностей Гейзенберга. Волновая функция, и ее статистический смысл. Уравнение Шредингера.

Применение уравнений Шредингера к электрону в "ящике" и к атому водорода. Спин электрона. Квантовые числа и принцип Паули. Периодическая система элементов Менделеева. Рентгеновские лучи и их спектры. Закон Мозли.

Люминесценция и ее практическое применение. Законы Стокса и Вавилова. Квантовые генераторы света и их использование.

Естественная радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Закон радиоактивного смещения. Закономерности α , β , γ - распада. Методы наблюдения и регистрации частиц.

Состав атомного ядра. Нуклоны и их основные характеристики. Объяснение β - распада. Нейтрино. Дефект массы, энергия связи и устойчивость атомных ядер.

γ - лучи. Механизм поглощения γ - лучей веществом. Позитроны. Нейтроны. Взаимодействие их с веществом. Методы регистрации. Тепловые нейтроны. Замедление нейтронов. Искусственная радиоактивность.

Деление тяжелых ядер. Цепная реакция. Основные сведения о ядерной энергетике. Термоядерные реакции. Элементарные частицы и их взаимные превращения.

Примеры решения задач

Пример 1. Луч света выходит из скипидара в воздух. Предельный угол полного внутреннего отражения для этого луча $\alpha_{\text{пр}} = 42^\circ 23'$. Найти скорость распространения света в скипидаре.

Решение. Запишем закон преломления света

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}, \quad (1)$$

где α — угол падения луча,
 β — угол преломления луча,
 v_1 и v_2 — скорости света
 соответственно в первой и второй средах.

В предельном случае полного внутреннего отражения преломленный луч пойдет по границе раздела сред, как

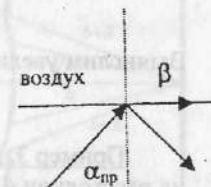


Рис. 1

показано на рис. 1. Поэтому выражение (1) преобразуется к виду

$$\sin \alpha_{np} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (2)$$

Можно считать, что скорость света в воздухе близка к скорости света в вакууме и составляет $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Выразим из формулы (2) искомую скорость v_1 и вычислим

$$v_1 = v_2 \sin \alpha_{np} = c \sin \alpha_{np} = 3 \cdot 10^8 \sin 42^\circ 23' = 2,02 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Пример 2. Найти увеличение k , даваемое плосковыпуклой линзой с радиусом кривизны $R = 30$ см и показателем преломления $n = 1,5$, если расстояние от предмета до линзы $a = 90$ см.

Решение. Увеличением называется отношение высоты изображения H , полученного с помощью линзы, к высоте предмета h

$$k = H/h. \quad (1)$$

Из рис. 2 видно, что

$$\frac{H}{h} = \frac{b}{a}, \quad (2)$$

где b — расстояние от линзы до изображения.

Запишем формулу тонкой линзы

$$-\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{F}, \quad (3)$$

где R_1, R_2 — радиусы кривизны поверхностей линзы; F — фокусное расстояние.

Величины a, b, R_1 и R_2 являются алгебраическими. Эти расстояния берутся со знаком "+", если отсчитываются от линзы по ходу луча, в противном случае — со знаком "-". В нашем случае $R_2 = \infty$, поэтому формула (3) примет к виду

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{n-1}{R}. \quad (4)$$

Выразим из соотношения (4) величину b и подставим в формулы (2), (1)

$$k = \frac{R}{a(n-1) - R}.$$

Вычислим увеличение линзы

$$k = \frac{0,3}{0,9(1,5-1) - 0,3} = 2.$$

Пример 3. Два когерентных источника ($\lambda = 0,5$ мкм) S_1 и S_2 находятся на расстоянии $d = 2$ мм. Что будет наблюдаться в точке A (рис. 3) на экране, отстоящем от линии, соединяющей источники, на расстоянии $l = 2$ м, если на пути луча S_2A помещена стеклянная пластинка толщиной $10,5$ мкм?

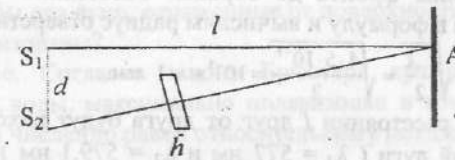


Рис. 3

Решение. Условие усиления или ослабления света определяется величиной оптической разности хода лучей Δ .

Если $\Delta = k\lambda$, где $k = 0, 1, 2, \dots$, то наблюдается интерференционный максимум.

Если $\Delta = (2k + 1)\lambda/2$, то наблюдается интерференционный минимум.

Оптическая разность хода лучей определяется выражением

$$\Delta = ((S_2A - h) + nh) - S_1A = S_2A - S_1A + h(n-1).$$

где n — показатель преломления стекла ($n = 1,5$).

Из рисунка 3 найдем разность расстояний S_2A и S_1A

$$S_2A - S_1A = \sqrt{l^2 + d^2} - l.$$

Подставим данные и вычислим

$$\Delta = \sqrt{(2 \cdot 10^{-3})^2 + 2^2} - 2 + 10,5 \cdot 10^{-6} (1,5 - 1) = 6,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Δ удовлетворяет условию максимального ослабления света

$$2k + 1 = \frac{\Delta}{\lambda/2} = 25.$$

Пример 4. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии $l = 4$ м от точечного источника монохроматического света ($\lambda = 500$ нм). Посредине между экраном и источником света помещена диафрагма с круглым отверстием. При каком радиусе R отверстия центр дифракционных колец, наблюдаемых на экране, будет наиболее темным?

Решение. Воспользуемся методом зон Френеля. Волновая поверхность представляет собой сферу. Разобьем ее на зоны, являющиеся усеченными сферическими сегментами (рис. 4).

Центр дифракционных колец будет наиболее темным, если на отверстие уложатся только две зоны Френеля.

Радиус m -й зоны Френеля дается выражением

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b}} m \lambda,$$

где a — расстояние от источника до вершины волнового фронта;

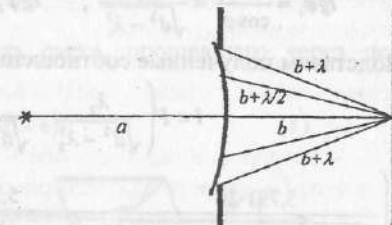


Рис. 4

b – расстояние от вершины фронта до экрана. Расстояние $a \approx b \approx l/2$, $m = 2$. Подставим данные в формулу и вычислим радиус отверстия

$$R = r_2 = \sqrt{\frac{l \lambda}{2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5 \cdot 10^{-7}}{2}} = 10^{-3} \text{ м} = 1 \text{ мм}.$$

Пример 5. На каком расстоянии l друг от друга будут находиться на экране две линии ртутной дуги ($\lambda_1 = 577 \text{ нм}$ и $\lambda_2 = 579,1 \text{ нм}$) в спектре первого порядка, полученного с помощью дифракционной решетки? Фокусное расстояние линзы, проектирующей спектр на экран, $F = 0,6 \text{ м}$. Постоянная решетки $d = 2 \text{ мкм}$.

Решение. Согласно принципу Гюйгенса – Френеля каждая точка волнового фронта является источником вторичных волн, поэтому от каждой точки щели дифракционной решетки отходит бесконечное число лучей. На рис. 5 сплошной линией изображены лучи, дающие на экране в спектре первого порядка линию с длиной волны λ_1 , пунктирной – с длиной волны λ_2 .

Отрезок АВ является оптической разностью хода Δ_1 между лучами, которые на экране при сложении дают первую спектральную линию.

$$AB = BC \sin \varphi_1 = d \sin \varphi_1 = \Delta_1.$$

Условие первого максимума имеет вид

$$\Delta_1 = \lambda_1,$$

следовательно,

$$d \sin \varphi_1 = \lambda_1. \quad (1)$$

Аналогично,

$$\Delta_2 = d \sin \varphi_2 = \lambda_2. \quad (2)$$

Из рисунка 5 видно, что

$$l = F(\operatorname{tg} \varphi_2 - \operatorname{tg} \varphi_1). \quad (3)$$

Используя соотношения (1), (2) можно получить

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\sin \varphi_1}{\cos \varphi_1} = \frac{\lambda_1}{\sqrt{d^2 - \lambda_1^2}}; \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\sin \varphi_2}{\cos \varphi_2} = \frac{\lambda_2}{\sqrt{d^2 - \lambda_2^2}}.$$

Подставим полученные соотношения в формулу (3) и вычислим l

$$l = F \left(\frac{\lambda_2}{\sqrt{d^2 - \lambda_2^2}} - \frac{\lambda_1}{\sqrt{d^2 - \lambda_1^2}} \right);$$

$$l = 0,6 \cdot \left(\frac{5,791 \cdot 10^{-7}}{\sqrt{(2 \cdot 10^{-6})^2 - (5,791 \cdot 10^{-7})^2}} - \frac{5,77 \cdot 10^{-7}}{\sqrt{(2 \cdot 10^{-6})^2 - (5,77 \cdot 10^{-7})^2}} \right) = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

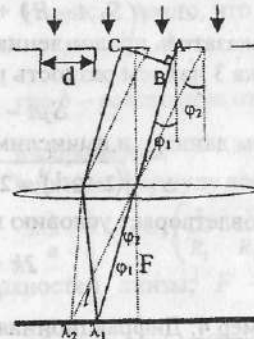


Рис. 5

Пример 6. Под каким углом β к горизонту должно находиться Солнце, чтобы его лучи, отраженные от поверхности озера, были наиболее полно поляризованы?

Решение. Согласно закону Брюстера луч света, отраженный от поверхности воды, максимально поляризован в том случае, если тангенс угла падения численно равен относительному показателю преломления:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = n_{21}, \quad (1)$$

где n_{21} – показатель преломления второй среды (воды) относительно первой (воздуха).

Относительный показатель преломления равен отношению абсолютных показателей преломления: $n_{21} = n_2/n_1 = n_2$, так как показатель преломления воздуха $n_1 = 1$.

Угол падения α_0 (отсчитывается от нормали к границе раздела сред) связан с углом β соотношением

$$\alpha_0 = 90^\circ - \beta. \quad (2)$$

Используя формулы (1) и (2), получим:

$$\beta = 90^\circ - \operatorname{arctg} n_2 = 90^\circ - \operatorname{arctg} 1,33 = 37^\circ.$$

Пример 7. Естественный свет проходит через два николя, поставленные так, что угол между их главными плоскостями составляет $62^\circ 30'$. Определить, во сколько раз уменьшится интенсивность I_0 естественного света при прохождении через оба николя, если коэффициент поглощения света в каждом из них $k = 0,08$. Потери на отражение не учитывать.

Решение. Естественный свет, падая на грань призмы Николя (рис. 6), испытывает двойное лучепреломление, расщепляясь на два луча: обыкновенный o и необыкновенный e . Каждый из лучей является плоско-поляризованным. Плоскость колебаний необыкновенного луча лежит в плоскости рисунка, плоскость колебаний обыкновенного луча перпендикулярна плоскости рисунка. Интенсивность лучей одинакова. Обыкновенный луч испытывает полное внутреннее отражение и поглощается зачерненной поверхностью призмы. Необыкновенный луч проходит через призму, уменьшая свою интенсивность вследствие поглощения.

Таким образом, интенсивность света, прошедшего через первую призму,

$$I_1 = \frac{I_0}{2} - \frac{I_0}{2} k = \frac{I_0}{2} (1 - k). \quad (1)$$

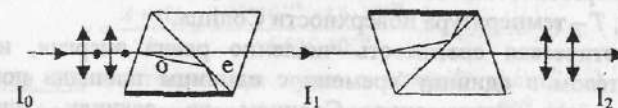


Рис. 6

Плоскополяризованный луч интенсивности I_1 падает на второй николю. Интенсивность света, вышедшего из второго николя I_2 , связана с интенсивностью I_1 по закону Малюса. Если не учитывать поглощения, то закон имеет вид:

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha,$$

где α – угол между главными плоскостями николей.

Учитывая поглощение света вторым николем, получим:

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha - k I_1 \cos^2 \alpha = I_1 (1 - k) \cos^2 \alpha. \quad (2)$$

Подставим формулу (1) в соотношение (2)

$$I_2 = \frac{I_0}{2} (1 - k)^2 \cos^2 \alpha.$$

Получим из этого выражения искомое уменьшение интенсивности и вычислим

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{2}{(1 - k)^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{2}{(1 - 0,08)^2 \cos^2 62^\circ 30'} = 11.$$

Таким образом, интенсивность естественного света уменьшится в одиннадцать раз.

Пример 8. Считая, что атмосфера поглощает 10% лучистой энергии, посылаемой Солнцем, найти мощность N , получаемую горизонтальным участком Земли площадью $S = 5000 \text{ м}^2$. Высота Солнца над горизонтом $\varphi = 30^\circ$. Излучение Солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела.

Решение. На горизонтальный участок площадью S приходится мощность

$$N = k S \sin \varphi, \quad (1)$$

где k – величина солнечной постоянной для Земли, т. е. количество лучистой энергии, посылаемой Солнцем и проходящее через единичную площадку, находящуюся на расстоянии Земли, перпендикулярную солнечным лучам.

Солнечную постоянную k найдем, используя закон Стефана – Больцмана.

$$R_s = \sigma T^4, \quad (2)$$

где R_s – энергетическая светимость Солнца; σ – постоянная Стефана – Больцмана; T – температура поверхности Солнца.

Энергетическая светимость численно равна энергии, излучаемой нагретым телом в единицу времени с единицы площади поверхности. Полная энергия, излучаемая Солнцем за секунду, определяется соотношением,

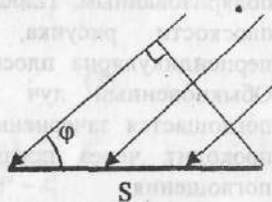


Рис. 7

$$W = 4\pi R_s^2 \sigma T^4, \quad (3)$$

где R_s – радиус Солнца.

Используя выражение (3), получим:

$$k = \frac{4\pi R_s^2 \sigma T^4}{4\pi R_{\text{З}}^2} = \sigma T^4 \frac{R_s^2}{R_{\text{З}}^2}, \quad (4)$$

где $R_{\text{З}}$ – расстояние от Солнца до Земли.

Подставив соотношение (4) в формулу (1), имеем:

$$N = \frac{\sigma T^4 R_s^2}{R_{\text{З}}^2} S \sin \varphi.$$

Вычислим искомую мощность

$$N = \frac{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 5800^4 (6,96 \cdot 10^8)^2}{(1,5 \cdot 10^{11})^2} 5000 \cdot \sin 30^\circ = 3,1 \cdot 10^6 \text{ Вт}.$$

Пример 9. Найти частоту ν света, вырывающего из металла электроны, которые полностью задерживаются разностью потенциалов $U = 3 \text{ В}$. Фотоэффект начинается при частоте света $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$. Найти работу выхода A электрона из металла.

Решение. Воспользуемся уравнением Эйнштейна для фотоэффекта.

$$h\nu = A + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}, \quad (1)$$

где h – постоянная Планка; m – масса электрона; v_{max} – максимальная скорость вырванных электронов.

Если частота света равна ν_0 , то вся энергия падающих фотонов E идет лишь на вырывание электронов. Поэтому можно записать

$$E = h\nu_0 = A.$$

Рассчитаем работу выхода

$$A = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 6 \cdot 10^{14} = 3,98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \text{ или } A = 2,48 \text{ эВ}.$$

При приложении задерживающего напряжения U , ни один из электронов, даже обладающий максимальной кинетической энергией

$$E_{\text{кин}} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2},$$

не может преодолеть задерживающего электрического поля.

Следовательно,

$$\frac{mv_{\text{max}}^2}{2} = eU. \quad (2)$$

Используя выражения (1) и (2), получим:

$$h\nu = A + eU.$$

Выразим искомую частоту ν и вычислим

$$\nu = \frac{A + eU}{h} = \frac{3,98 \cdot 10^{-19} + 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3}{6,626 \cdot 10^{-34}} = 13,2 \cdot 10^{14} \text{ Гц}.$$

Пример 10. Рентгеновские лучи с длиной волны $\lambda_1 = 20 \text{ пм}$ испытывают комптоновское рассеяние под углом $\varphi = 90^\circ$. Найти изменение

$\Delta\lambda$ длины волны рентгеновских лучей при рассеянии, а также энергию W_e и импульс p_e электрона отдачи.

Решение. Изменение длины волны рентгеновских лучей определяется формулой Комптона

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos\varphi), \quad (1)$$

где m – масса покоя электрона; φ – угол дифракции.

$$\Delta\lambda = \frac{6,625 \cdot 10^{-34}}{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8} (1 - \cos 90^\circ) = 2,42 \text{ пм.}$$

Энергию электрона отдачи можно найти, используя закон сохранения энергии. Рентгеновский фотон, столкнувшись с электроном, передает ему часть своей энергии. Следовательно,

$$W_e = E_1 - E_2, \quad (2)$$

где E_1 – энергия падающего фотона; E_2 – энергия рассеянного фотона.

Энергия фотона определяется соотношением

$$E = \frac{hc}{\lambda}.$$

С учетом этого выражение (2) примет вид

$$W_e = \frac{hc(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_1 \lambda_2} = hc \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1 \lambda_2}.$$

Вычислим искомую энергию электрона отдачи

$$W_e = 6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{2,42}{20 \cdot 22,42 \cdot 10^{-12}} = 6,6 \cdot 10^3 \text{ эВ.}$$

Столкновение фотонов с электронами подчиняется закону сохранения импульса (рис. 8).

$$\vec{p}_1 = \vec{p}_2 + \vec{p}_e,$$

где $\vec{p}_1$ – импульс падающего фотона;

$\vec{p}_2$ – импульс рассеянного фотона;

$\vec{p}_e$ – импульс электрона.

Угол между векторами $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$ равен 90° , следовательно,

$$|\vec{p}_e| = \sqrt{p_1^2 + p_2^2}. \quad (3)$$

Импульс фотона определяется выражением

$$p = \frac{h}{\lambda}. \quad (4)$$

Используя выражения (3) и (4), получим:

$$p_e = \frac{h\sqrt{\lambda_1^2 + (\lambda_1 + \Delta\lambda)^2}}{\lambda_1(\lambda_1 + \Delta\lambda)}.$$

Вычислим импульс электрона p_e

$$p_e = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \sqrt{(20 \cdot 10^{-12})^2 + (22,4 \cdot 10^{-12})^2}}{20 \cdot 10^{-12} \cdot 22,4 \cdot 10^{-12}} = 4,4 \cdot 10^{-23} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

Пример 11. Найти длину волны де Бройля λ для электрона, имеющего кинетическую энергию: 1) $W_1 = 10$ кЭв; 2) $W_2 = 1$ МэВ.

Решение. Длина волны де Бройля для частицы определяется формулой

$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad (1)$$

где p – импульс частицы.

Импульс частицы можно определить, если известна ее кинетическая энергия W .

В нерелятивистском случае (скорость частицы много меньше скорости света)

$$p = \sqrt{2m_0W}, \quad (2)$$

где m_0 – масса покоя частицы.

В релятивистском случае (кинетическая энергия сравнима с энергией покоя $E_0 = m_0c^2$ частицы)

$$p = \frac{\sqrt{(2E_0 + W)W}}{c}. \quad (3)$$

Формула (1) с учетом соотношений (2) и (3) запишется в нерелятивистском случае

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0W}}, \quad (4)$$

в релятивистском случае

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{(2E_0 + W)W}}. \quad (5)$$

Сравним кинетические энергии электрона с энергией покоя электрона $E_0 = 0,51$ МэВ. В первом случае $W_1 = 0,01$ МэВ, что гораздо меньше E_0 , следовательно, в этом случае можно применить формулу (4).

$$\lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2m_0W_1}}.$$

Для расчета кинетическую энергию электрона W_1 необходимо перевести в единицы СИ

$$W_1 = 10 \text{ кЭв} = 10^4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 1,6 \cdot 10^{-15} \text{ Дж.}$$

Вычислим длину волны де Бройля

$$\lambda_1 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-15}}} = 12 \cdot 10^{-12} \text{ м} = 12 \text{ пм.}$$

Во втором случае кинетическая энергия больше энергии покоя электрона, поэтому необходимо применить релятивистскую формулу (5).

$$\lambda_2 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19} \sqrt{(2 \cdot 0,51 + 1) 10^{12}}} = 0,87 \text{ нм.}$$

Пример 12. Найти период обращения T электрона на первой боровской орбите атома водорода и его угловую скорость ω .

Решение. Согласно теории Бора электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по круговым орбитам, радиусы которых удовлетворяют соотношению

$$mv_n r_n = n \frac{h}{2\pi}, \quad (1)$$

где m — масса электрона; v_n — скорость электрона на орбите; r_n — радиус орбиты; n — главное квантовое число, соответствующее номеру орбиты ($n = 1; 2; 3; \dots$).

Угловая скорость ω связана с линейной скоростью v_n соотношением

$$v = \omega r_n.$$

С учетом этого выражение (1) можно привести к виду

$$m\omega_n r_n^2 = n \frac{h}{2\pi}. \quad (2)$$

В этом уравнении два неизвестных: ω_n и r_n . Необходимо записать еще одно соотношение, связывающее эти величины. Для этого воспользуемся уравнением движения электрона под действием центростремительной силы, которой является кулоновская сила притяжения между электроном и ядром

$$m\omega_n^2 r_n = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n^2}, \quad (3)$$

где e — заряд электрона; ϵ_0 — электрическая постоянная.

Решая совместно уравнения (2) и (3) и учитывая, что в нашем случае $n = 1$, получим:

$$\omega = \frac{\pi m e^4}{2\epsilon_0^2 h^3}. \quad (4)$$

Вычислим искомую угловую скорость

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^4}{2 \cdot (8,85 \cdot 10^{-12})^2 \cdot 6,625 \cdot 10^{-34}} = 4,4 \cdot 10^{16} \text{ рад/с.}$$

Период обращения электрона по первой боровской орбите вычислим по формуле

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2 \cdot 3,14}{4,4 \cdot 10^{16}} = 1,43 \cdot 10^{-16} \text{ с.}$$

Пример 13. Найти наибольшую длину волны λ К-серии рентгеновских лучей, даваемых рентгеновской трубкой с антикатодом из вольфрама. Для К-серии постоянная экранирования $b = 1$.

Решение. Длины волн рентгеновских характеристических лучей могут быть найдены по формуле Мозли

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z-b)^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad (1)$$

где R — постоянная Ридберга; z — порядковый номер элемента, из которого сделан антикатод; n и k — номера электронных оболочек (k больше n).

Ближайший к ядру электронный слой (К-слой) содержит два электрона. Если один из этих электронов оказывается выбитым при бомбардировке антикатада быстрыми электронами, то на освободившееся место может перейти электрон из более высоких слоев (L, M, N). При этом возникают соответственные линии К-серии. Наибольшая длина волны К-серии соответствует линии K_α . При этом в формуле (1) мы должны положить $k = 2$; $n = 1$; $z = 74$. Решая формулу (1) относительно λ , получим:

$$\lambda = 2,28 \cdot 10^{-11} \text{ м} = 22,8 \text{ пм.}$$

Пример 14. Сколько атомов радиоактивного натрия Na^{24} массой 2 мг распадается за 1) 10 часов; 2) 0,01 с?

Решение. Воспользуемся законом радиоактивного распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

где N_0 — начальное число атомов (при $t = 0$);

N — число атомов, не распавшихся к моменту времени t ;

λ — постоянная радиоактивного распада.

Число атомов ΔN , распавшихся за некоторый промежуток времени Δt , можно выразить равенством

$$\Delta N = N_0 - N. \quad (2)$$

Используя выражения (1) и (2), получим:

$$\Delta N = N_0 (1 - e^{-\lambda t}). \quad (3)$$

Период полураспада, т. е. время, за которое число нераспавшихся атомов уменьшается в два раза, связан с постоянной распада соотношением

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (4)$$

С учетом выражения (4) формула (3) примет вид

$$\Delta N = N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \right). \quad (5)$$

Число атомов N_0 , содержащихся в некоторой массе m вещества, равно произведению числа Авогадро на число молей вещества, т. е.

$$N_0 = N_A \frac{m}{\mu},$$

где μ — молярная масса натрия.

Вычислим N_0

$$N_0 = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{2 \cdot 10^{-6}}{0,024} = 5,01 \cdot 10^{19} \text{ атомов.}$$

Для вычисления числа атомов, распадающихся за 10 часов, можно непосредственно применить формулу (3). Значение периода полураспада возьмем из справочной таблицы: $T_{1/2} = 14,8 \text{ часов} = 5,33 \cdot 10^4 \text{ с}$.

$$\Delta N = 5,01 \cdot 10^{19} \left(1 - 2^{-\frac{10}{14,8}} \right) = 1,88 \cdot 10^{19}.$$

В случае, когда промежуток времени Δt много меньше периода полураспада, для расчета числа распавшихся атомов можно воспользоваться приближенной формулой

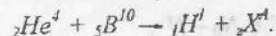
$$|\Delta N| = \lambda N \Delta t = \frac{\ln 2}{T} N \Delta t.$$

Подставив сюда числовые значения величин, получим:

$$\Delta N = 0,693 \cdot 5,01 \cdot 10^{19} \cdot 1,88 \cdot 10^{-7} = 6,52 \cdot 10^{12} \text{ атомов}.$$

Пример 15. При соударении α -частицы с ядром бора ${}^B_{10}$ произошла ядерная реакция, в результате которой образовалось два новых ядра. Одним из этих ядер было ядро атома водорода. Определить порядковый номер и массовое число второго ядра. Вычислить энергетический эффект данной ядерной реакции.

Решение. Обозначим неизвестное ядро символом X_A , где z – число протонов в ядре, A – массовое число. Известно, что α -частица представляет собой ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$. Запись ядерной реакции имеет вид



Применив закон сохранения числа нуклонов, получим уравнение, позволяющее определить массовое число неизвестного ядра:

$$4 + 10 = 1 + A,$$

$$A = 13.$$

Заряд образовавшегося ядра найдем из закона сохранения электрического заряда

$$2 + 5 = 1 + z,$$

$$z = 6.$$

Следовательно, неизвестное ядро является ядром атома углерода ${}^{13}_6\text{C}$.

Энергетический эффект Q ядерной реакции определяется соотношением

$$E = c^2 \Delta m, \quad (1)$$

где Δm – разность суммарной массы исходных ядер и суммарной массы ядер – продуктов реакции; c – скорость света в вакууме.

Множитель c^2 удобно представить в виде

$$c^2 \approx 931 \frac{\text{МэВ}}{\text{а.е.м.}}. \quad (2)$$

Разность между массами

$$\Delta m = (m_{\text{He}} + m_{\text{B}}) - (m_{\text{H}} + m_{\text{C}}). \quad (3)$$

С учетом соотношений (2) и (3) формула (1) примет вид

$$Q = 931((m_{\text{He}} + m_{\text{B}}) - (m_{\text{H}} + m_{\text{C}})).$$

При числовых подсчетах по этой формуле массы ядер можно заменить массами нейтральных атомов, выраженных в атомных единицах массы. Справедливость такой замены вытекает из следующих рассуждений.

Число электронов в электронной оболочке нейтрального атома равно числу протонов в ядре z . Суммарное число протонов исходных ядер равно суммарному числу протонов образовавшихся ядер. Следовательно, электронные оболочки ядер гелия и бора содержат вместе столько же электронов, сколько их содержат электронные оболочки ядер углерода и водорода. При вычитании суммы масс нейтральных атомов углерода и водорода из суммы масс атомов гелия и бора массы электронов выпадут, и мы получим тот же результат, как если бы брали массы ядер.

Подставив массы атомов, взятые из таблиц, в формулу (4), получим:

$$Q = 931((4,00387 + 10,01611) - (1,00747 + 13,00814)) = 4,07 \text{ МэВ}.$$

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 5

Студент должен выполнить восемь задач того варианта, номер которого совпадает с последней цифрой его шифра.

Вариант	Номера задач							
	1	7	13	19	25	31	37	48
0	1	7	13	19	25	31	37	48
1	2	8	14	20	26	32	38	47
2	3	9	15	21	27	33	39	46
3	4	10	16	22	28	34	40	45
4	5	11	17	23	29	35	41	44
5	6	12	18	24	30	36	42	43
6	1	8	15	22	29	36	41	47
7	2	9	16	23	30	31	40	46
8	3	10	17	24	25	32	39	45
9	4	11	18	19	26	33	38	44

ЗАДАЧИ

1. Луч света падает под углом $\alpha = 30^\circ$ на плоскопараллельную стеклянную пластинку и выходит из нее параллельно первоначальному лучу. Показатель преломления стекла $n = 1,5$. Какова толщина d пластинки, если расстояние между лучами $l = 1,94$ см?

2. В каком направлении пловец, нырнувший в воду, видит заходящее солнце?

3. На стакан, наполненный водой, положена стеклянная пластинка. Под каким углом α должен падать на пластинку луч света, чтобы от поверхности раздела вода — стекло произошло полное внутреннее отражение? Показатель преломления стекла $n = 1,5$.

4. На дно сосуда, наполненного водой до высоты $h = 10$ см, помещен точечный источник света. На поверхности плавает круглая непрозрачная пластинка так, что ее центр находится над источником света. Какой наименьший радиус должна иметь эта пластинка, чтобы ни один луч не мог выйти через поверхность воды.

5. Предельный угол полного внутреннего отражения для сероуглерода равен 38° . Определить скорость света в сероуглероде?

6. На плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной $d = 1$ см падает луч света под углом $\alpha = 60^\circ$. Показатель преломления стекла $n = 1,73$. Часть света отражается, а часть, преломляясь, проходит в стекло, отражается от нижней поверхности пластинки и, преломляясь вторично, выходит обратно в воздух параллельно первому отраженному лучу. Найти расстояние l между лучами.

7. Линза с фокусным расстоянием $F = 16$ см дает резкое изображение предмета при двух положениях, расстояние между которыми $d = 6$ см. Найти расстояние от предмета до экрана.

8. Двояковыпуклая линза с радиусами кривизны поверхностей $R_1 = R_2 = 12$ см поставлена на таком расстоянии от предмета, что изображение на экране получилось в k раз больше предмета. Найти расстояние от предмета до экрана, если: а) $k = 1$; б) $k = 20$; в) $k = 0,2$. Показатель преломления материала линзы $n = 1,5$.

9. Решить предыдущую задачу при условии, что линза погружена в сероуглерод.

10. Из двух стекол с показателями преломления $n_1 = 1,5$ и $n_2 = 1,7$ сделаны две одинаковые двояковыпуклые линзы. Найти отношение их фокусных расстояний. Какое действие каждая из этих линз произведет на луч параллельный оптической оси, если погрузить эти линзы в прозрачную жидкость с показателем преломления $n = 1,6$.

11. Найти продольную хроматическую aberrацию двояковыпуклой линзы из флинтгласа с радиусами кривизны $R_1 = R_2 = 8$ см. Показатели

преломления флинтгласа для красного и фиолетового лучей равны $n_{кр} = 1,5$ и $n_{ф} = 1,8$.

12. В фокальной плоскости двояковыпуклой линзы расположено плоское зеркало. Предмет находится перед линзой между фокусом и двойным фокусным расстоянием. Построить изображение предмета.

13. В опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей помещалась тонкая стеклянная пластинка, вследствие чего центральная светлая полоса смещалась в положение, первоначально занятое пятой светлой полосой (не считая центральной). Луч падает перпендикулярно к поверхности пластинки. Показатель преломления пластинки $n = 1,5$. Длина волны света $\lambda = 600$ нм. Какова толщина h пластинки?

14. На мыльную пленку падает белый свет под углом $\alpha = 45^\circ$ к поверхности пленки. При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый цвет ($\lambda = 600$ нм)? Показатель преломления мыльной воды $n = 1,33$.

15. Мыльная пленка, расположенная вертикально, образует клин вследствие стекания жидкости. Интерференция наблюдается в отраженном свете через красное стекло ($\lambda = 631$ нм). Расстояние между соседними красными полосами при этом $l_1 = 3$ мм. Затем эта же пленка наблюдается через синее стекло ($\lambda = 400$ нм). Найти расстояние l_2 между соседними синими полосами. Считать, что за время измерения форма пленки не меняется и свет падает перпендикулярно к поверхности пленки.

16. Пучок света ($\lambda = 582$ нм) падает перпендикулярно к поверхности стеклянного клина. Угол клина $\gamma = 20''$. Какое число темных интерференционных полос приходится на единицу длины клина? Показатель преломления стекла $n = 1,5$.

17. Плосковыпуклая линза с фокусным расстоянием $F = 2$ м лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус пятого темного кольца Ньютона в отраженном свете $r_5 = 1,5$ мм. Определить длину световой волны λ .

18. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. После того, как пространство между линзой и пластинкой заполнили жидкостью, радиусы темных колец в отраженном свете уменьшились в 1,25 раз. Найти показатель преломления жидкости.

19. Свет от монохроматического источника ($\lambda = 600$ нм) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием. Диаметр отверстия $d = 6$ мм. За диафрагмой на расстоянии $l = 3$ м от нее находится экран. Какое число зон Френеля укладывается на отверстие? Каким будет центр дифракционной картины на экране: темным или светлым?

20. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии $l = 4$ м от точечного источника света ($\lambda = 500$ нм). Посередине между экраном и

источником света помещена диафрагма с круглым отверстием. При каком радиусе отверстия центр дифракционных колец, наблюдаемых на экране, будет наиболее темным?

21. На щель шириной $a = 20$ мкм падает нормально параллельный пучок света ($\lambda = 500$ нм). Найти ширину изображения щели на экране, удаленном от щели на расстояние $l = 1$ м. Шириной изображения считать расстояние между первыми дифракционными минимумами, расположенными по обе стороны от главного максимума освещенности.

22. На диафрагму с диаметром отверстия $D = 1,96$ мм падает нормально параллельный пучок монохроматического света ($\lambda = 600$ нм). При каком наибольшем расстоянии между диафрагмой и экраном в центре дифракционной картины еще будет наблюдаться темное пятно?

23. Найти радиус третьей зоны Френеля для плоской волны, если расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения $b = 1$ м. Длина волны света $\lambda = 500$ нм.

24. Расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения $b = 1$ м, длина волны света $\lambda = 500$ нм. Радиус пятой зоны Френеля $r_5 = 1,12$ мм. Найти расстояние от источника света до волновой поверхности.

25. Постоянная дифракционной решетки в $n = 5$ раз больше длины световой волны монохроматического света, нормально падающего на ее поверхность. Определить угол между двумя первыми симметричными максимумами.

26. На поверхность дифракционной решетки нормально падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решетки в $n = 3,5$ раз больше длины световой волны. Найти общее число дифракционных максимумов, которые теоретически можно наблюдать в данном случае.

27. На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок белого света. Спектры второго и третьего порядков частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая граница ($\lambda = 400$ нм) спектра третьего порядка?

28. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки. Какова должна быть постоянная дифракционной решетки, чтобы в направлении $\varphi = 41^\circ$ совпадали максимумы линий $\lambda_1 = 656,3$ нм и $\lambda_2 = 410,2$ нм?

29. Какова должна быть постоянная дифракционной решетки, чтобы в первом порядке можно было видеть раздельно две линии спектра калия $\lambda_1 = 404,4$ нм, $\lambda_2 = 404,7$ нм? Ширина решетки $a = 3$ см.

30. На каком расстоянии на экране будут находиться две линии ртутной дуги ($\lambda_1 = 577$ нм и $\lambda_2 = 579,1$ нм) в спектре первого порядка, полученном при помощи дифракционной решетки? Фокусное расстояние

линзы, проектирующей спектр на экран, $F = 0,6$ м. Постоянная решетки $d = 2$ мкм.

31. Луч света, идущий в стеклянном сосуде с водой, отражается от дна сосуда. При каком угле падения отраженный луч максимально поляризован? Показатель преломления стекла $n_c = 1,5$.

32. Луч света переходит из воды в стекло ($n_c = 1,5$) так, что луч, отраженный от границы раздела этих сред, оказывается максимально поляризованным. Определить угол γ между падающим и преломленным лучами.

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

34. Найти показатель преломления стекла, если при отражении от него света отраженный луч будет полностью поляризован при угле преломления $\beta = 30^\circ$.

35. Предельный угол полного внутреннего отражения для некоторого вещества $\alpha = 45^\circ$. Найти для этого вещества угол полной поляризации.

36. Луч света проходит через жидкость, налитую в стеклянный сосуд ($n = 1,5$), и отражается от дна. Отраженный луч полностью поляризован при падении его на дно сосуда под углом $\alpha_b = 42^\circ 37'$. Найти показатель преломления жидкости.

37. Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, поставленные так, что угол между их главными плоскостями равен φ . Как поляризатор, так и анализатор поглощают и отражают 8 % падающего на них света. Оказалось, что интенсивность луча, вышедшего из анализатора, равна 9 % интенсивности естественного света, падающего на поляризатор. Найти угол φ .

38. Между скрещенными николями поместили пластинку кварца толщиной $d = 3$ мм, в результате чего экран оказался максимально просветленным. Определить постоянную вращения α кварца для монохроматического света, используемого в опыте.

39. Пластинку кварца толщиной $d = 1,5$ мм поместили между параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на $\varphi = 27^\circ$. Какой наименьшей толщины надо взять пластинку, чтобы экран стал совершенно темным?

40. Угол α между главными плоскостями поляроидов равен 60° . Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в $n = 10$ раз. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения k света в поляроидах.

41. Луч света последовательно проходит через два николя, главные плоскости которых составляют угол $\alpha = 50^\circ$. Принимая, что коэффициент поглощения каждого николя $k = 0,1$, найти, во сколько раз луч,

выходящий из второго николя, ослаблен по сравнению с лучом, падающим на первый николю.

42. Естественный свет падает на стопу из $N = 5$ поляроидов, главная плоскость которых повернута на 30° по часовой стрелке относительно друг друга. Какая доля интенсивности падающего света пройдет через пластинки? Потери при отражении и поглощении света пренебречь.

43. Абсолютно черное тело имеет температуру $T_1 = 400$ К. Какова будет температура T_2 тела, если в результате нагревания мощность излучения увеличилась в 10 раз?

44. Температура вольфрамовой спирали в 25-ваттной электрической лампочке $T = 2450$ К. Отношение ее энергетической светимости к энергетической светимости абсолютно черного тела при данной температуре $k = 0,3$. Найти площадь излучающей поверхности спирали.

45. Мощность излучения абсолютно черного тела $N = 10$ кВт. Найти площадь излучающей поверхности тела, если максимум спектральной плотности его энергетической светимости приходится на длину волны $\lambda = 700$ нм.

46. Температура T абсолютно черного тела изменилась при нагревании от 1000 до 3000 К. На сколько изменилась длина волны λ , на которую приходится максимум ее энергетической светимости? Во сколько раз увеличилась его максимальная спектральная плотность энергетической светимости r_λ ?

47. Поверхность тела нагрета до температуры $T = 1000$ К. Затем одна половина этой поверхности нагревается на $\Delta T = 100$ К, другая охлаждается на $\Delta T = 100$ К. Во сколько раз изменится энергетическая светимость R_0 поверхности этого тела?

48. Мощность излучения раскаленной металлической поверхности $N' = 0,67$ кВт. Температура поверхности $T = 2500$ К, ее площадь $S = 10$ см². Какую мощность N излучения имела бы эта поверхность, если бы она была абсолютно черной? Найти отношение интегральных излучательных способностей этой поверхности и абсолютно черного тела.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 6

Вариант	Номера задач							
0	52	59	66	67	77	79	89	91
1	51	58	65	68	76	80	90	96
2	50	57	64	69	75	81	87	94
3	49	56	63	70	74	82	88	92
4	54	60	66	72	78	83	90	96
5	53	59	65	71	77	84	89	95
6	52	58	64	70	76	84	88	94
7	51	57	63	69	75	83	87	93
8	50	56	62	68	74	82	86	92
9	49	55	61	67	73	81	85	91

ЗАДАЧИ

49. При фотоэффекте с платиновой поверхности электроны полностью задерживаются разностью потенциалов $U = 0,8$ В. Найти длину волны λ применяемого излучения и предельную длину волны λ_0 , при которой еще возможен фотоэффект.

50. Фотоны с энергией $\epsilon = 4,9$ эВ вырывают электроны из металла с работой выхода $A = 4,5$ эВ. Найти максимальный импульс, передаваемый поверхности металла при каждом вылете электрона.

51. На металлическую пластинку направлен пучок ультрафиолетовых лучей с длиной волны $\lambda = 0,2$ мкм. Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов $U = 2,2$ В. Определить работу выхода электронов из металла.

52. Красная граница фотоэффекта для цезия $\lambda_0 = 640$ нм. Определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов в электрон-вольтах, если на цезий падают лучи с длиной волны $\lambda = 200$ нм.

53. На фотоэлемент с катодом из рубидия падают лучи с длиной волны $\lambda = 100$ нм. Найти наименьшее значение задерживающей разности потенциалов, которую нужно приложить, чтобы прекратить фототок.

54. Найти постоянную планка h , если известно, что электроны, вырываемые светом из металла светом с частотой $\nu_1 = 2,2 \cdot 10^{15}$ Гц, полностью задерживаются разностью потенциалов $U = 6,6$ В, а вырываемые светом с частотой $\nu_2 = 4,6 \cdot 10^{15}$ Гц — разностью потенциалов $U_2 = 16,5$ В.

55. В результате эффекта Комптона на свободных электронах фотон с энергией $\epsilon_1 = 0,51$ МэВ был рассеян на угол $\varphi = 120^\circ$. Определить энергию рассеянного фотона ϵ_2 .

56. Какая доля энергии приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если рассеяние фотона происходит на угол $\varphi = 180^\circ$? Энергия фотона до рассеяния $\epsilon_1 = 0,255$ МэВ.

57. Фотон при эффекте Комптона был на свободном электроны рассеян на угол $\varphi = \pi$. Определить импульс p , приобретенный электроном, если энергия фотона до рассеяния была $\epsilon_1 = 0,51$ МэВ.

58. Свет с длиной волны $\lambda = 700$ нм нормально падает на зеркальную поверхность и производит на нее давление $p = 0,1$ мкПа. Определить число фотонов, падающих за время $t = 1$ с на площадь $S = 1$ см² этой поверхности.

59. Точечный источник монохроматического излучения ($\lambda = 0,1$ мкм) находится в центре сферической зачерненной колбы радиуса $R = 5$ см. Определить световое давление p , производимое на внутреннюю поверхность колбы.

60. Найти световое давление p на стенки электрической 100-ваттной лампы. Колба лампочки представляет собой сферу радиуса $R = 5$ см. Стенки лампы отражают 4 % и пропускают 6 % падающего на них света. Считать, что вся потребляемая мощность идет на излучение.

61. Найти длину волны де Бройля для а) электрона, движущегося со скоростью $v = 10^6$ м/с; б) атома водорода, движущегося со средней квадратичной скоростью при $T = 300$ К; в) шарика массой $m = 1$ г, движущегося со скоростью $v = 1$ см/с.

62. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов $U = 200$ В, имеет длину волны де Бройля $\lambda_B = 2,02$ пм. Найти массу m частицы, если ее заряд численно равен заряду электрона.

63. Определить длины волн де Бройля для электрона и протона, прошедших одинаковую разность потенциалов $U = 100$ В.

64. Определить дебройлевскую длину волны электрона, кинетическая энергия которого $W = 1,02$ МэВ.

65. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы длина волны де Бройля была равна: а) 1 нм; б) 1 пм.

66. Найти длину волны де Бройля для атома водорода, движущегося с наиболее вероятной скоростью при температуре $t = 20^\circ$ С.

67. Найти наибольшую длину волны $\lambda_{\max}$ в ультрафиолетовой области спектра водорода. Какую наименьшую скорость $v_{\min}$ должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами электронов появилась эта линия?

68. Найти потенциал ионизации U_i и первый потенциал возбуждения U_1 атома водорода.

69. Найти кинетическую, потенциальную и полную энергии электрона на первой боровской орбите.

70. В каких пределах должны лежать длины волн света, чтобы при возбуждении атомов водорода квантами этого света радиус орбиты электрона r_k увеличился в 9 раз?

71. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной атомарным водородом. Постоянная решетки $d = 5$ мкм. Какому переходу электрона соответствует спектральная линия, наблюдаемая при помощи этой решетки в спектре пятого порядка под углом $\varphi = 41^\circ$.

72. Найти потенциал ионизации U_i : а) однократно ионизированного гелия; б) двукратно ионизированного лития.

73. К электродам рентгеновской трубки приложена разность потенциалов $U = 60$ кВ. Наименьшая длина волны рентгеновских лучей, получаемых от этой трубки, $\lambda = 20,6$ пм. Найти из этих данных постоянную h Планка.

74. Найти длину волны λ , определяющую коротковолновую границу непрерывного рентгеновского спектра, если известно, что уменьшение приложенного к рентгеновской трубке напряжения на $\Delta U = 23$ кВ увеличивает искомую длину волны в два раза.

75. Какую наименьшую разность потенциалов U надо приложить к рентгеновской трубке, чтобы получить все линии К-серии, если в качестве материала антикатада взять а) медь; б) серебро; в) вольфрам; г) платину?

76. Найти постоянную экранирования b для L-серии рентгеновских лучей, если известно, что при переходе электрона в атоме вольфрама с M-на L-слой испускаются рентгеновские лучи с длиной волны $\lambda = 143$ пм.

77. При переходе электрона с L- на K-слой испускаются рентгеновские лучи с длиной волны $\lambda = 78,8$ пм. Какой это атом? Для K-серии постоянная экранирования $b = 1$.

78. Определить энергию фотона, соответствующего K_α -линии характеристического рентгеновского излучения олова.

79. Определить число атомов радиоактивного препарата йода $^{131}_{53}\text{I}$ массой 0,5 мкг, распавшихся в течение одной минуты и в течение одной недели.

80. Найти массу m полония $^{210}_{84}\text{Po}$, активность которого $a = 3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

81. Найти постоянную распада λ радона, если известно, что число атомов радона уменьшается за время $t = 1$ сут на 18,2 %.

82. При помощи ионизационного счетчика исследуется активность некоторого радиоактивного изотопа. В начальный момент времени счетчик дает 75 отбросов за время $t = 10$ с. Какое число отбросов за время $t = 10$ с