

Физика. 2 курс, часть 3. Примеры задач

Формулы удобные при решении задач на эффект Комптона.

Из формулы: $\lambda' - \lambda = \frac{2\sigma\hbar}{m_e \cdot c} (1 - \cos\theta)$

используя соотношения:
 $\lambda = \frac{c}{\nu}$, $\omega = 2\pi\nu$, $\varepsilon = \hbar\omega$

получаем:

$$\frac{2\sigma\hbar c}{\varepsilon'} - \frac{2\sigma\hbar c}{\varepsilon} = \frac{2\sigma\hbar c}{m_e \cdot c^2} (1 - \cos\theta)$$

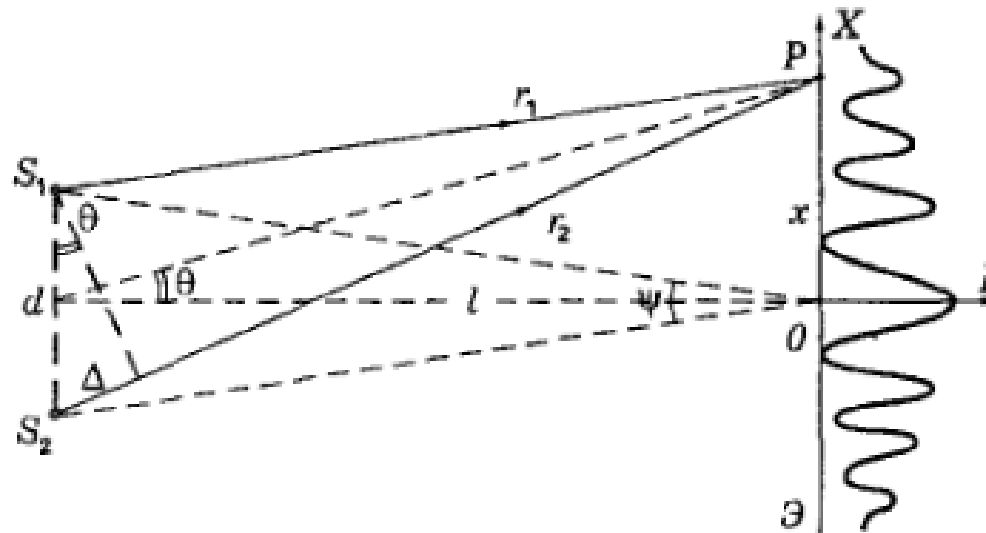
или $\frac{1}{\varepsilon'} - \frac{1}{\varepsilon} = \frac{1}{E_0} (1 - \cos\theta)$

где E_0 — энергия покоя электрона ($m_e c^2$)

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{\varepsilon}{E_0} (1 - \cos\theta)}$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon'}{1 - \frac{\varepsilon'}{E_0} (1 - \cos\theta)}$$

$E_0 = 511 \text{ кэВ}$



$$\Delta x = \lambda l / d$$

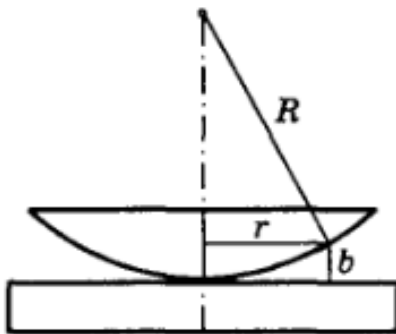
или

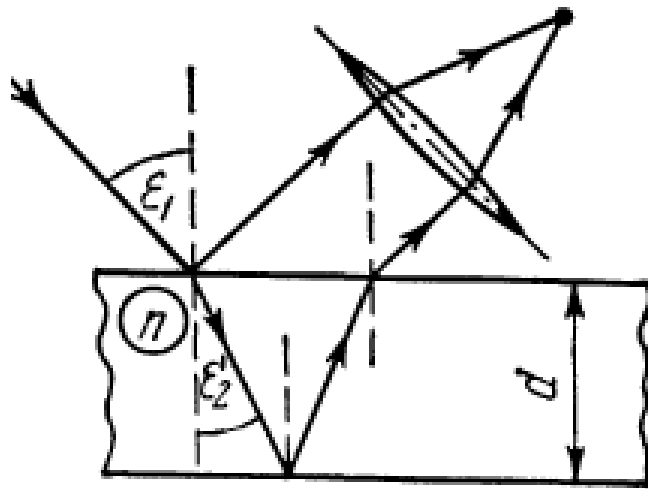
$$\Delta x = \lambda / \psi,$$

Пример. Плосковыпуклая линза, радиус кривизны сферической поверхности которой $R = 60$ мм, соприкасается со стеклянной пластинкой. Оценим радиус наблюдаемой в отраженном свете интерференционной картины, если длина волны света $\lambda = 0,60$ мкм и $\Delta\lambda = 0,06$ мкм. Свет падает практически нормально.

При нормальном падении света ограничивать интерференционную картину будет только длина когерентности $l_{\text{кор}}$. Кольца исчезают при условии $2b \approx l_{\text{кор}}$, где b — ширина зазора в месте исчезновения колец. Согласно (4.35), $r^2 = 2bR$, а $l_{\text{кор}} \approx \lambda^2 / \Delta\lambda$. Из этих формул получим $r^2 / R \approx \lambda^2 / \Delta\lambda$, откуда

$$r \approx \lambda \sqrt{R / \Delta\lambda} = 0,6 \text{ мм.}$$





$$\Delta = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon_1} + \lambda/2,$$

Второе слагаемое в этих формулах учитывает изменение оптической длины пути световой волны на $\lambda/2$ при отражении ее от среды оптически более плотной.

Пример 1. Определить начальную активность A_0 радиоактивного магния ^{27}Mg массой $m=0,2$ мкг, а также активность A по истечении времени $t=1$ ч. Предполагается, что все атомы изотопа радиоактивны.

Решение. Начальная активность изотопа

$$A_0 = \lambda N_0, \quad (1)$$

где λ — постоянная радиоактивного распада; N_0 — количество атомов изотопа в начальный момент ($t=0$).

Если учесть, что $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$, $N_0 = \frac{m}{M} N_A$, то формула (1) примет вид

$$A_0 = \frac{m N_A}{M T_{1/2}} \ln 2. \quad (2)$$

Выразим входящие в эту формулу величины в СИ и произведем вычисления:

$$A_0 = 5,15 \cdot 10^{12} \text{ Бк} = 5,15 \text{ ТБк}.$$

Активность изотопа уменьшается со временем по закону

$$A = A_0 e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

Заменив в формуле (3) постоянную распада λ ее выражением, получим

$$A = A_0 e^{-\ln 2 \cdot t/T_{1/2}} = A_0 (e^{\ln 2})^{-t/T_{1/2}}.$$

Так как $e^{\ln 2} = 2$, то окончательно будем иметь

$$A = A_0 / 2^{t/T_{1/2}}.$$

Сделав подстановку числовых значений, получим

$$A = 8,05 \cdot 10^{10} \text{ Бк} = 80,5 \text{ ГБк}.$$

Пример 2. Определить удельную энергию связи ядра ${}^7_3\text{Li}$.

Решение. Удельная энергия связи есть энергия связи ядра, приходящаяся на один нуклон:

$$E_{\text{уд}} = E_{\text{св}}/c^2,$$

или

$$E_{\text{уд}} = \frac{c^2}{A} [Zm_{{}^1_1\text{H}} + (A-Z)m_n - m_a].$$

$$\begin{aligned} E_{\text{уд}} &= \frac{931,4}{7} [3 \cdot 1,00783 + (7-3) \cdot 1,00867 - 7,01601] \text{ МэВ/нуклон} = \\ &= 5,61 \text{ МэВ/нуклон}. \end{aligned}$$

Пример тестового задания с решениями

- Вопрос 1

На поверхность стекла с показателем преломления $n_{ст}=1,65$ нанесена тонкая пленка толщиной 110 нм с показателем преломления $n_{пл}=1,5$. Пленка будет "просветляющей" для длины волны видимого света (в нм), равной ...

Варианты ответов:

- a) 760
- b) 380
- c) 555
- d) 726
- e) 660

- Решение задачи

Для просветления оптики необходимо, чтобы отраженные лучи света были в противофазе. На каждой границе раздела сред будет скачок фазы равный π . Условие гашения отраженных лучей

$$2dn_{пл} = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}, m = 0, 1, 2, \dots$$

Только длина волны 660 нм удовлетворяет этому условию при $m=0$.

Ответ: 660

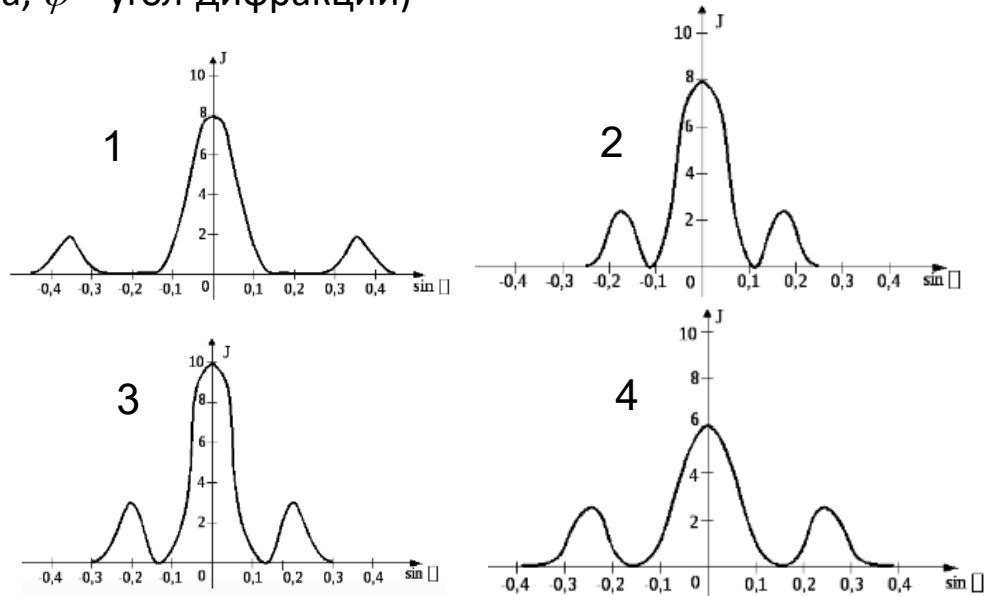
Пример тестового задания с решениями

- Вопрос 2

Одна и та же дифракционная решетка освещается различными монохроматическими излучениями с разными интенсивностями. Какой рисунок соответствует случаю освещения светом с наименьшей длиной волны? (J – интенсивность света, φ – угол дифракции)

Варианты ответов:

- a) Рис. 1
- b) Рис. 2
- c) Рис. 3
- d) Рис. 4



- Решение задачи

Положение главных максимумов определяется условием $d \sin \varphi = m \lambda$. Для первого максимума имеем $d \sin \varphi = \lambda$. Так как решетка одна и та же, то период d будет одинаковым для всех решеток. Наименьшей длине волны будет соответствовать рис. 2

Ответ: рис 2

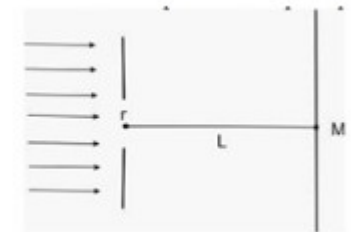
Пример тестового задания с решениями

- Вопрос 3

На диафрагму с круглым отверстием радиусом 2 мм падает нормально параллельный пучок света длиной волны 0,5 мкм. На пути лучей, прошедших через отверстие, на расстоянии 1 м помещают экран. В центре экрана в точке М будет наблюдаться ...

Варианты ответов:

- a) темное пятно, так как в отверстии укладывается 4 зоны Френеля
- b) светлое пятно, так как в отверстии укладывается 3 зоны Френеля
- c) темное пятно, так как в отверстии укладывается 8 зон Френеля
- d) светлое пятно, так как в отверстии укладывается 5 зон Френеля



- Решение задачи

В случае бесконечно удаленного источника света радиус m -той зоны Френеля равен $r_m = m\sqrt{L\lambda}$

Откуда $m = \frac{r_m^2}{L\lambda} = \frac{(2 \times 10^{-3})^2}{1 \times 0,5 \times 10^{-6}} = 8$. Так как количество зон Френеля является четным числом, то в точке М будет темное пятно.

Ответ: темное пятно, так как в отверстии укладывается 8 зон Френеля

Пример тестового задания с решениями

- Вопрос 4

Пластинку кварца толщиной $d_1=1,5$ мм поместили между поляризатором и анализатором, в результате чего плоскость поляризации света повернулась на угол 40° . Определить толщину d_2 кварцевой пластинки, помещенной между поляризатором и анализатором с совпадающими плоскостями пропускания, при которой данный монохроматический свет будет полностью гаситься.

Варианты ответов:

- a) 3,4 мм
- b) 1,2 мм
- c) 1,7 мм
- d) 4 мм

- Решение задачи

Угол поворота плоскости поляризации $\Delta\varphi$ пропорционален толщине кварцевой пластинки d , то есть $\Delta\varphi=\alpha d$. Коэффициент пропорциональности α равен $\alpha=\Delta\varphi / d_1$. Чтобы свет гасился надо, чтобы поворот плоскости поляризации был на $\Delta\varphi_2=90^\circ$. Необходимая толщина кварцевой пластинки равна

$$d_2 = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\varphi} d_1$$

Подставляя численные значения, получим $d_2 = 3,375$ мм $\approx 3,4$ мм

Ответ: 3,4 мм

Пример тестового задания с решениями

- Вопрос 5

Если при уменьшении температуры площадь фигуры под графиком испускательной способности абсолютно черного тела уменьшилась в 16 раз, то отношение температур равно ...

Варианты ответов:

- a) 1,7
- b) 2
- c) 4
- d) 2,5

- Решение задачи

Испускательная способность это спектральная плотность энергетической светимости. Поэтому площадь фигуры под графиком испускательной способности дает энергетическую светимость абсолютно черного тела. Тогда из закона Стефана-Больцмана следует, что $T_1 T_2 = \sqrt[4]{16} = \sqrt{2}$

Ответ: 2

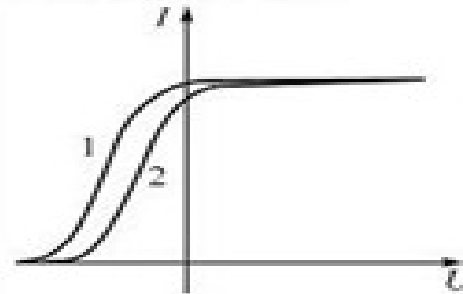
Пример тестового задания с решениями

- Вопрос 6

На рисунке приведены две вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если I – интенсивность света, падающего на фотоэлемент, а ν – частота света, то для данного случая справедливы соотношения... (В данной задаче полагать, что число фотоэлектронов, приходящихся на один поглощенный фотон не зависит от длины волны падающего света)

Варианты ответов:

- a) $\nu_1 = \nu_2, I_1 < I_2$
- b) $\nu_1 < \nu_2, I_1 = I_2$
- c) $\nu_1 = \nu_2, I_1 > I_2$
- d) $\nu_1 > \nu_2, I_1 = I_2$



- Решение задачи

Ток насыщения одинаков, значит в обоих случаях количество вылетевших электронов одинаково, значит на фотоэлемент падает свет одинаковой интенсивности.

Запирающее напряжение в первом случае больше, значит в этом случае вылетают электроны с большей кинетической энергией. Это означает, что в первом случае у падающих фотонов большая частота.

Ответ: $\nu_1 > \nu_2, I_1 = I_2$



Пример тестового задания с решениями

- Вопрос 7

Фотокатод освещается монохроматическим светом, энергия фотонов которого 4 эВ. Работа выхода электронов из материала катода 2,5 эВ. Чему равно запирающее напряжение?

Варианты ответов:

- a) 6,5 В
- b) 1,5 В
- c) 4 В
- d) 3,5 В

- Решение задачи

Соотношение А. Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \left(\frac{mv^2}{2} \right)_{\text{max}}$$

Максимальная кинетическая энергия вылетевших электронов будет 1,5 эВ, значит запирающее напряжение будет 1,5 В.

Ответ: 1,5 В

Пример тестового задания с решениями

- Вопрос 8

Электрон в атоме водорода перешел из основного состояния в возбужденное с $n=3$. Радиус его боровской орбиты ...

Варианты ответов:

- a) увеличился в 9 раз
- b) увеличился в 3 раза
- c) уменьшился в 3 раза
- d) уменьшился в 9 раз

- Решение задачи

Радиус боровской орбиты равен

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2 n^2}{m_0 e^2}, n = 1, 2, \dots$$

Он пропорционален n^2 . Поэтому, при переходе из основного состояния с $n=1$ в возбужденное с $n=3$ радиус боровской орбиты увеличится в 9 раз.

Ответ: увеличится в 9 раз

Пример тестового задания с решениями

- Вопрос 9

Какая доля радиоактивных атомов останется нераспавшейся через интервал времени, равный двум периодам полураспада?

Варианты ответов:

- a) 1/2
- b) 1/4
- c) 1/16
- d) 1/8
- e) 1/32

- Решение задачи

Закон радиоактивного распада: $N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-\frac{t}{T_{1/2}} \ln 2}$

За время $t = 2T_{1/2}$ количество нераспавшихся ядер будет $N = N_0 e^{-2 \ln 2} = (1/4)N_0$

Ответ: доля нераспавшихся ядер равна 1/4

Пример тестового задания с решениями

- Вопрос 10

При бомбардировке плутония α - частицами был получен новый элемент кюрий. Реакция шла следующим образом: ${}^4_2\text{He} + {}^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{242}_{96}\text{Cm} + {}^1_0\text{n}$. Укажите полное число нейтронов, участвующих в этой реакции

Варианты ответов:

- a) 92
- b) 96
- c) 147
- d) 235

- Решение задачи

${}^4_2\text{He}$ содержит 2 нейтрона. ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ Содержит $239 - 94 = 145$ нейтронов. Справа ${}^{242}_{96}\text{Cm}$ содержит $242 - 96 = 146$ нейтронов. Плюс 1 нейтрон. Следовательно в реакции участвуют 147 нейтронов.

Ответ: 147 нейтронов