

ОПТИКА

(5 дидактическая единица)

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

1. Интерференция света

Интерференция света – сложение двух или нескольких **когерентных** волн, в результате которого происходит перераспределение световой энергии в пространстве.

Условия наблюдения интерференции:

- разность фаз постоянна
- волны одинаковой частоты:

волны монохроматические

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_1 = \lambda_2 \\ \nu_1 = \nu_2 \end{array} \right.$$

- колебания светового вектора происходят в одном направлении

Задание N 16

Для интерференции двух волн необходимо и достаточно ...

Варианты ответов

- Одинаковая частота и одинаковое направление колебаний
- Одинаковая амплитуда и одинаковая частота колебаний
- Постоянная для каждой точки разность фаз и одинаковое направление колебаний

Задание N 4

Если на пути одного из двух интерферирующих лучей поставить синюю тонкую пластинку, а на пути второго – красную, то ...

$$\lambda_1 \neq \lambda_2 \quad \nu_1 \neq \nu_2$$

ВОЛНЫ НЕ КОГЕРЕНТНЫ

Варианты ответов

- интерференционная картина будет представлять чередование фиолетовых полос
- интерференционная картина будет представлять чередование красных, черных, синих полос
- интерференционной картины не будет
- интерференционная картина будет представлять чередование красных синих полос

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \quad - \text{связь разности фаз с оптической разностью хода}$$

Условия минимума при интерференции:

для разности фаз: $\Delta\varphi = \pm(2m + 1)\pi \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$

волны складываются в противофазе

для опт. разности хода: $\Delta = \pm(2m + 1)\frac{\lambda}{2}$

Условия максимума при интерференции:

для разности фаз: $\Delta\varphi = \pm 2\pi m \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$

волны складываются в одной фазе

для опт. разности хода: $\Delta = \pm m\lambda$

Задание N 1

Когерентные волны с начальными фазами φ_1 и φ_2 и разностью хода Δ при наложении максимально ослабляются при выполнении условия ($\kappa=0, 1, 2$) ...

$$\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx + \alpha)$$

↖ начальная фаза колебаний
↘ фаза волны

min: $\Delta\varphi = \pm(2m + 1)\pi$

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

Варианты ответов

- $\Delta = (2\kappa + 1)\lambda/2$
- $\varphi_1 - \varphi_2 = 2\kappa\pi$
- $\Delta = \frac{\lambda}{4}$
- $\Delta = \kappa\lambda$

Задание N 13

Разность хода двух интерферирующих лучей монохроматического света равна $\lambda/4$ (λ - длина волны). При этом разность фаз колебаний равна...

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\cancel{\lambda}} \frac{\cancel{\lambda}}{4} = \frac{\pi}{2}$$

Варианты ответов

- $\pi/6$
- $\pi/4$
- 2π
- π
- $\pi/2$

При интерференции когерентных лучей с длиной волны 400 нм максимум второго порядка возникает при разности хода ...

$$\mathit{max} \quad \Delta = \pm m\lambda$$

$$m=2 \quad \Delta = 2\lambda = 800 \text{ нм}$$

$$\mathit{min} \quad \Delta = \pm(2m + 1)\frac{\lambda}{2}$$

100 нм

400 нм

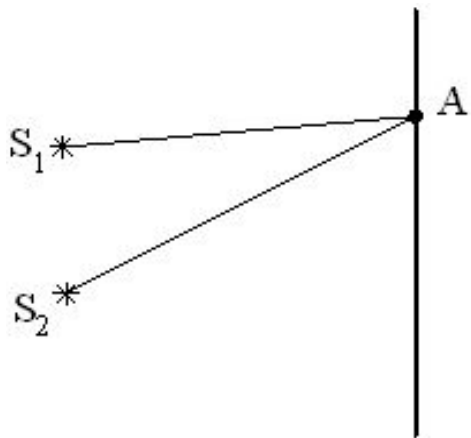
800 нм

200 нм

Как отличаются оптические разности хода лучей:

- для соседних темных интерференционных полос? $\Delta = \lambda$
- для соседних светлых интерференционных полос? $\Delta = \lambda$
- для соседних темной и светлой интерференционной полосы? $\Delta = \lambda/2$

В т. A приходят волны от двух когерентных источников S_1 и S_2 .
 Длина волны в вакууме 600 нм.



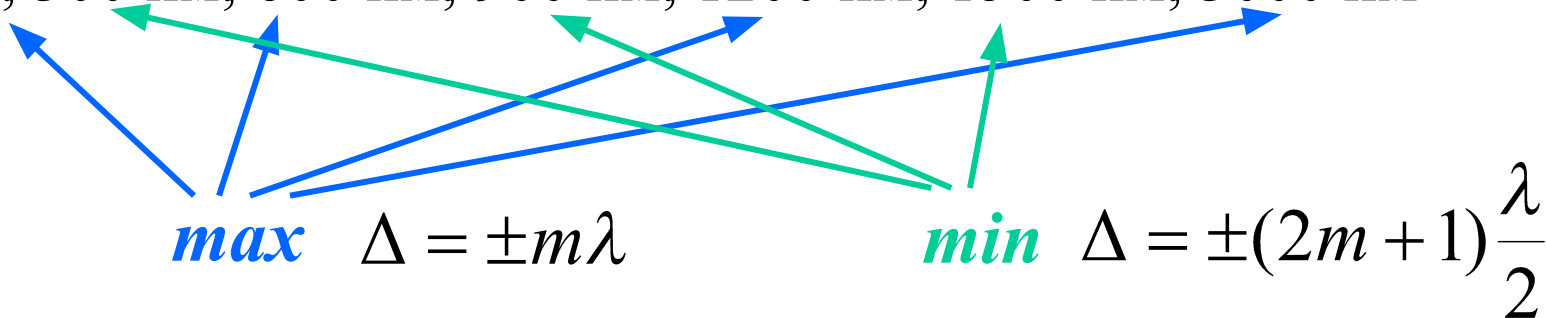
При какой минимальной разности фаз в т. A будет наблюдаться минимум интерференции?

$$\text{min } \Delta\varphi = \pm(2m + 1)\pi \quad m = 0$$

$$\Delta\varphi_{\text{min}} = \pm\pi$$

Укажите, при каких из перечисленных ниже значениях разности хода в т. A будет наблюдаться *максимум* (*минимум*) интерференции:

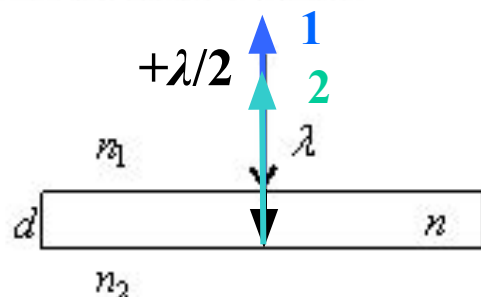
0; 300 нм; 600 нм; 900 нм; 1200 нм; 1500 нм; 3000 нм



Задание N 2

Варианты ответов

Тонкая стеклянная пластинка с показателем преломления n и толщиной d помещена между двумя средами с показателями преломления n_1 и n_2 причем $n_1 > n < n_2$. На пластинку нормально падает свет с длиной волны λ .



оптический
путь 2 луча

оптический
путь 1 луча

$$\Delta = 2dn - 0$$

Разность хода интерферирующих отраженных лучей равна ...

луч 1: отражается от оптически *менее* плотной среды

луч 2: отражается от оптически *более* плотной среды

При отражении волны от оптически *более* плотной среды появляется дополнительная разность хода $\lambda/2$

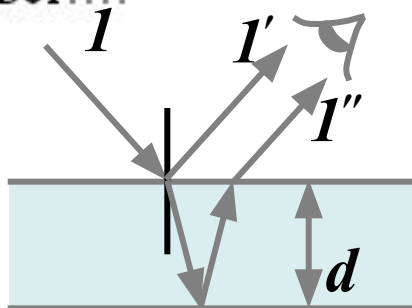
$2dn_2 + \frac{\lambda}{2}$

$2dn$

$2dn_1$

$2dn + \frac{\lambda}{2}$

Тонкая пленка, освещенная белым светом, вследствие явления интерференции в отраженном свете имеет зеленый цвет. При уменьшении толщины пленки ее цвет....



$$\text{max } \Delta = \pm m\lambda$$

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \lambda_0 / 2$$

$$\Delta \sim d \quad \Delta \sim n \quad \Delta \sim \alpha$$

$$d \downarrow \Rightarrow \Delta \downarrow \Rightarrow \lambda \downarrow$$

- не изменится
- станет красным
- станет синим

Задание N 16

Тонкая пленка, освещенная белым светом, вследствие явления интерференции в отраженном свете имеет зеленый цвет. При уменьшении показателя преломления пленки ее цвет....

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \lambda_0 / 2$$

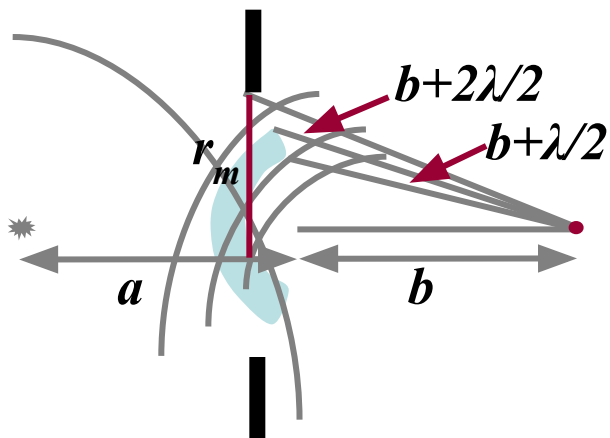
$$n \downarrow \Rightarrow \Delta \downarrow \Rightarrow \lambda \downarrow$$

Варианты ответов

- станет красным
- не изменится
- станет синим

2. Дифракция света

Дифракция – огибание волнами препятствий, соизмеримых с длиной волны.



Метод зон Френеля

Расстояния от краев зон до точки наблюдения различаются на $\lambda/2$

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m \lambda} \text{ – радиус } m\text{-ой зоны Френеля}$$

амплитуда от первой зоны

Если открыты:

1. все зоны:

$$A = \frac{A_1}{2}$$

$$I \sim A^2$$

$$I = \frac{I_1}{4}$$

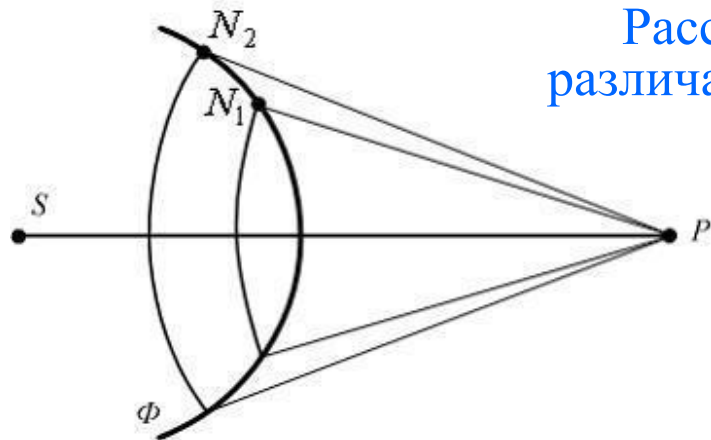
2. четное количество зон:

в центре **темное** пятно

3. нечетное количество зон:

в центре **светлое** пятно

На рисунке представлена схема разбиения волновой поверхности Φ на зоны Френеля. Разность хода между лучами N_1P и N_2P равна...



Расстояния от краев зон до точки наблюдения различаются на $\lambda/2$

$$\Delta = \lambda/2$$

Задание N 12

Если открыть все n зон Френеля, то интенсивность света от первой зоны Френеля...

$$A = \frac{A_1}{2}$$

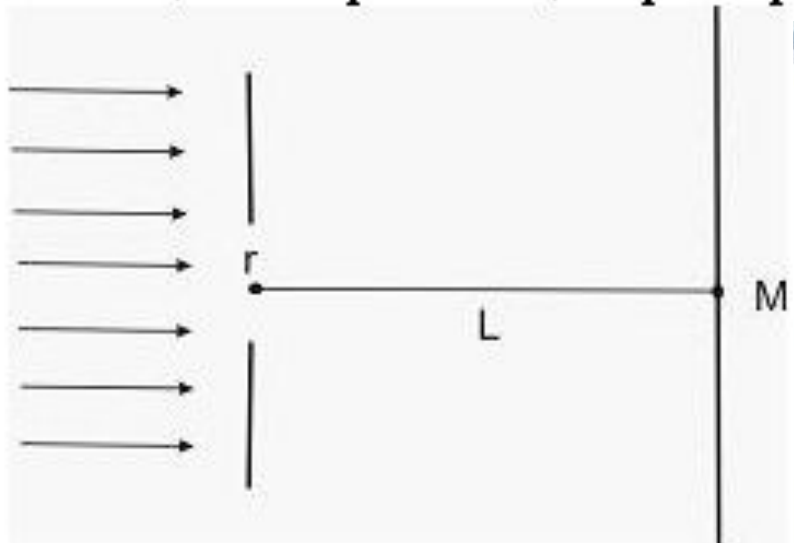
$$I \sim A^2$$

$$I = \frac{I_1}{4}$$

Варианты ответов

- уменьшится в 2 раза
- увеличится в n раз
- уменьшится в 4 раза
- увеличится в 2 раза

На диафрагму с круглым отверстием радиусом 1 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 ...



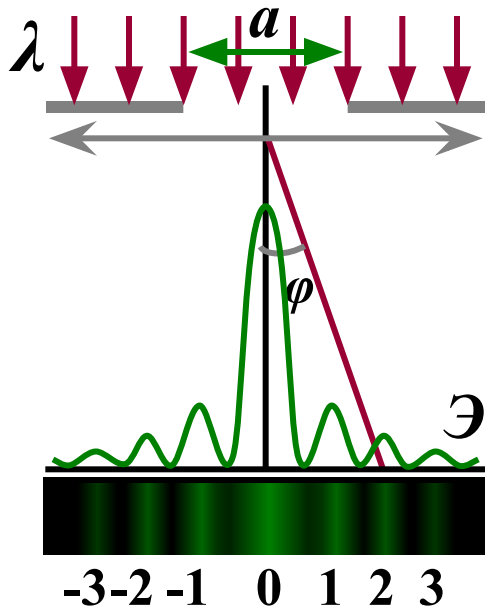
Варианты ответа:

- темное пятно, так как в отверстии укладывается 4 зоны Френеля
- Светлое пятно, так как в отверстии укладывается 3 зоны Френеля
- темное пятно, так как в отверстии укладывается 2 зоны Френеля
- Светлое пятно, так как в отверстии укладывается 5 зон Френеля

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m \lambda} \quad a = \infty \quad \lim_{a \rightarrow \infty} r_m = \sqrt{b m \lambda}$$

$$m = \frac{r_m^2}{b \lambda} = \frac{(10^{-3})^2}{1 \cdot 0.5 \cdot 10^{-6}} = 2$$

Дифракция Фраунгофера на щели



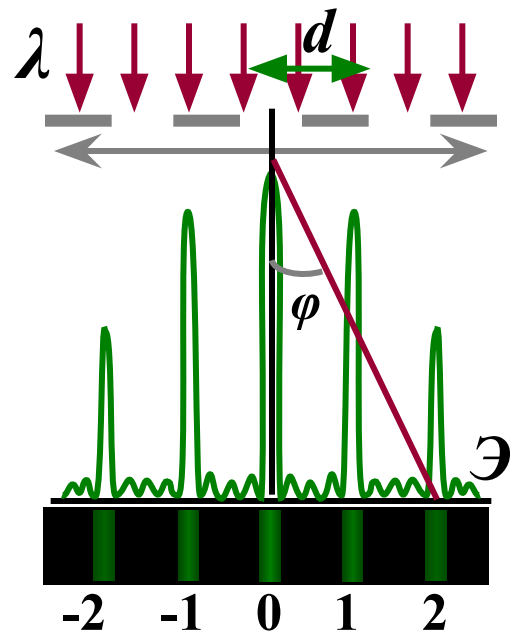
$$a \sin \varphi = \pm m \lambda \quad - \text{условие } \mathit{min}$$

$$a \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad - \text{условие } \mathit{max}$$

φ – угол наблюдения max или min

m – порядок минимума или максимума

Дифракция Фраунгофера на решетке



$$d \sin \varphi = \pm m \lambda \quad - \text{условие главных max}$$

$$\lambda = \text{const} \quad d \downarrow \quad \sin \varphi \uparrow \quad \text{расстояние между max} \uparrow$$

$$d = \text{const} \quad \lambda \uparrow \quad \sin \varphi \uparrow$$

$$\lambda_{\text{кр}} > \lambda_{\text{зел}} \quad \Rightarrow \quad \varphi_{\text{кр}} > \varphi_{\text{зел}}$$



Задание N 1

Варианты ответов

Угол дифракции в спектре k -ого порядка больше для ...

$$\text{max: } d \sin \varphi = \pm m \lambda$$

$$\lambda_{\text{кр}} > \lambda_{\text{фиол}} \Rightarrow \varphi_{\text{кр}} > \varphi_{\text{фиол}}$$

(сильнее отклоняются красные лучи)

- красных лучей
- фиолетовых лучей
- зеленых лучей
- желтых лучей

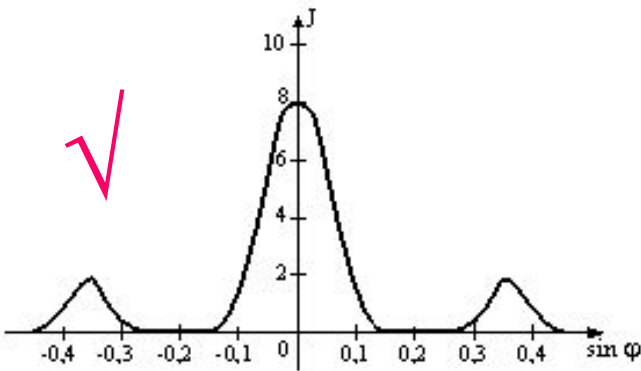
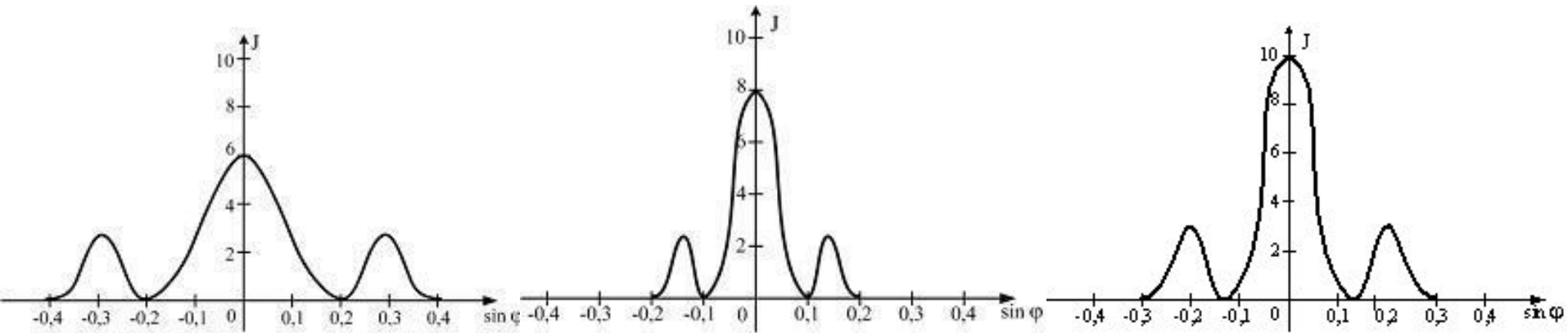
Задание N 13

Варианты ответов

4. Дифракционная решетка освещается зеленым светом. При освещении решетки красным светом картина дифракционного спектра на экране ...

- ответ неоднозначный, т.к. зависит от параметров решетки
- не изменится
- сузится
- расширится
- исчезнет

Имеются 4 решетки с различными постоянными d , освещаемые одним и тем же монохроматическим излучением различной интенсивности. Какой рисунок иллюстрирует положение главных максимумов, создаваемых дифракционной решеткой с наименьшей постоянной решетки?

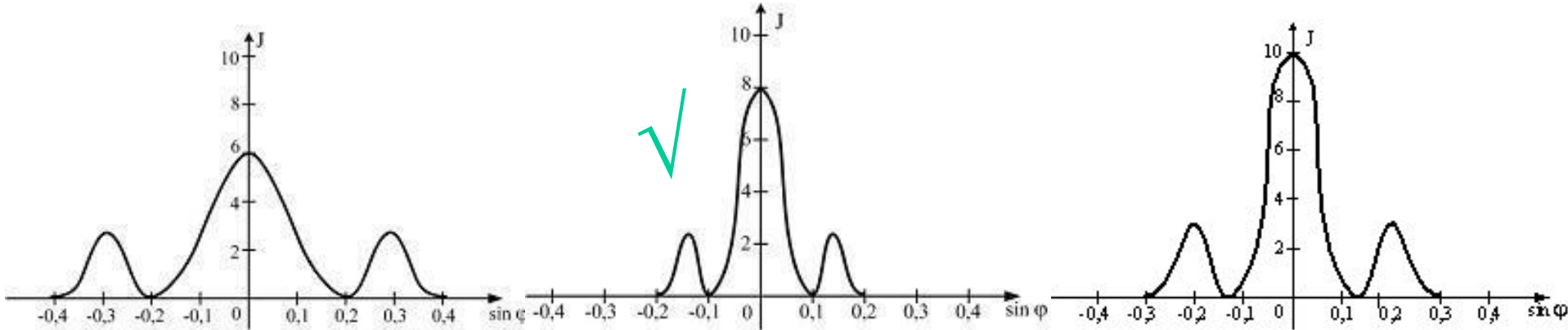


max: $d \sin \varphi = \pm m \lambda$

$m = const$ $\lambda = const$

чем меньше d , тем больше $\sin \varphi$

Одна и та же дифракционная решетка освещается различными монохроматическими излучениями с разными интенсивностями. Какой рисунок соответствует случаю освещения светом с наименьшей длиной волны? **с наибольшей частотой?**

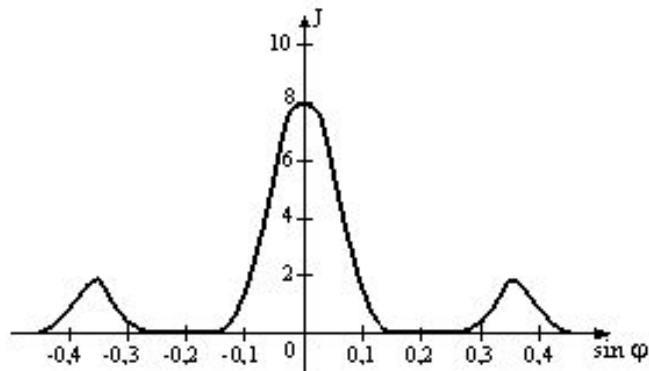


$$\mathbf{max:} \quad d \sin \varphi = \pm m \lambda$$

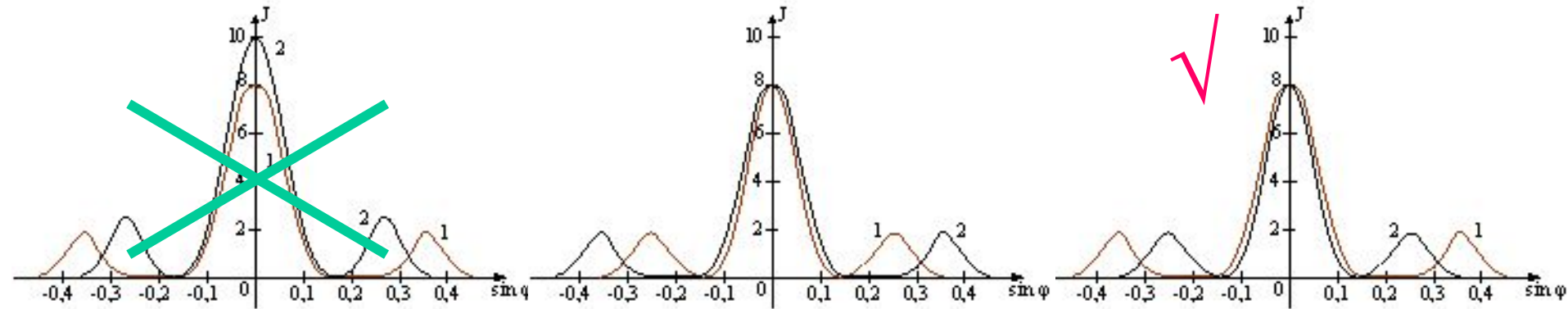
$$\mathbf{m} = const \quad \mathbf{d} = const$$

чем меньше λ , тем меньше $\sin \varphi$

$$\lambda = \frac{V}{\nu} \Rightarrow \text{чем больше } \nu, \text{ тем меньше } \lambda$$



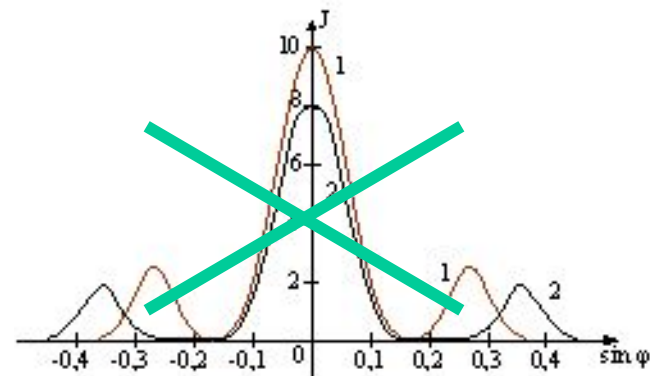
На дифракционную решетку падает излучение одинаковой интенсивности с длинами волн λ_1 и λ_2 . Укажите рисунок, иллюстрирующий положение главных максимумов, создаваемых дифракционной решеткой, если $\lambda_1 > \lambda_2$? (J – интенсивность, φ – угол дифракции).



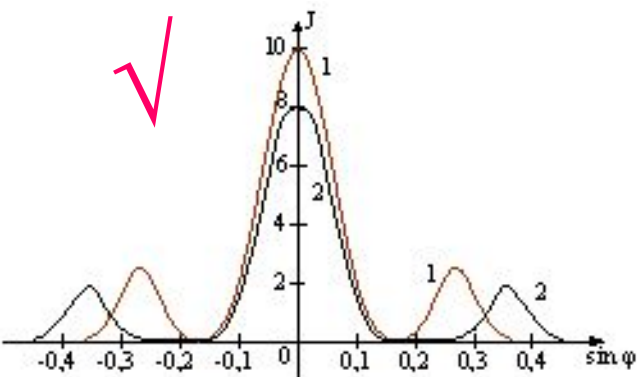
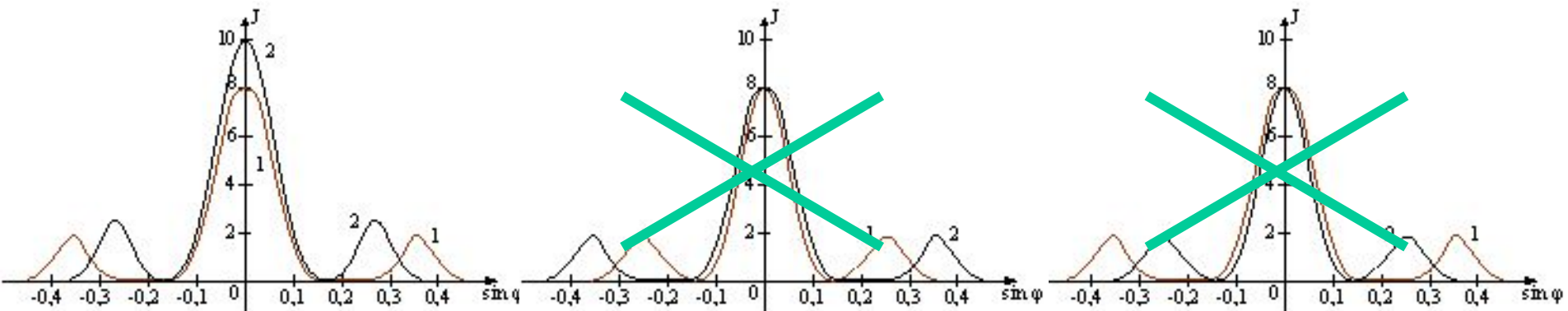
max: $d \sin \varphi = \pm m \lambda$

$m = const$ $d = const$

чем больше λ , тем больше $\sin \varphi$



На дифракционную решетку падает излучение с длинами волн λ_1 и λ_2 . Укажите рисунок, иллюстрирующий положение главных максимумов, создаваемых дифракционной решеткой, если $\lambda_1 < \lambda_2$, $I_1 > I_2$? (I – интенсивность, φ – угол дифракции).

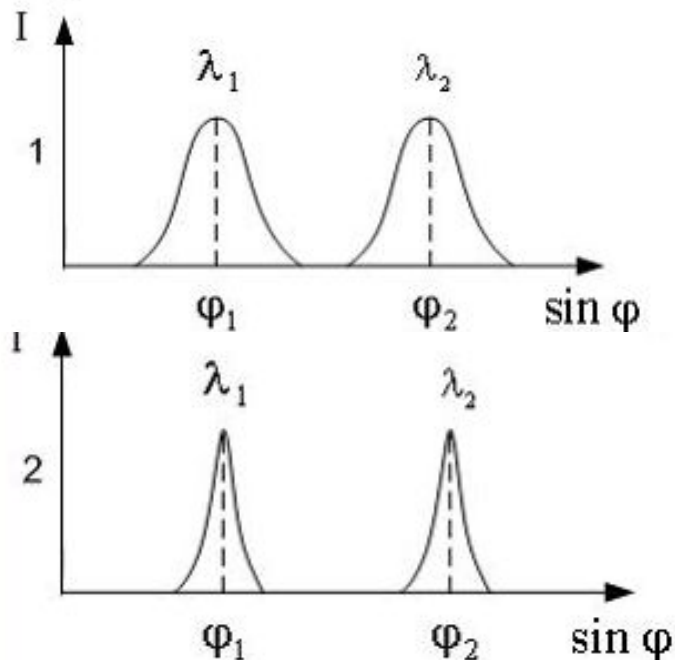


max: $d \sin \varphi = \pm m \lambda$

$m = const$ $d = const$

чем больше λ , тем больше $\sin \varphi$

две плоские монохроматические волны с длинами λ_1 и λ_2 . У экспериментатора имеется две дифракционных решетки. Число щелей в этих решетках N_1 и N_2 , а их постоянные d_1 и d_2 , соответственно. При нормальном падении света на дифракционную решетку 1 получено изображение в максимуме m , показанное на рисунке 1. После того, как дифракционную решетку 1 поменяли на решетку 2, изображение максимума m стало таким, как показано на рисунке 2. Постоянная решетки и число щелей у этих решеток соотносятся следующим образом ...



При увеличении числа щелей в решетке максимумы становятся более узкими и яркими.

$$N_2 > N_1$$

$$\text{max: } d \sin \varphi = \pm m \lambda$$

Положения максимумов не изменяется $\Rightarrow d_2 = d_1$

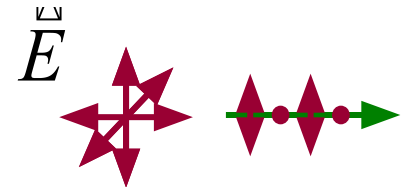
$N_2 > N_1 ; d_1 = d_2$

$N_1 = N_2 ; d_1 > d_2$

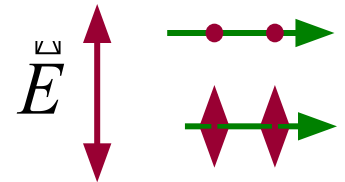
$N_1 > N_2 ; d_1 = d_2$

4. Поляризация

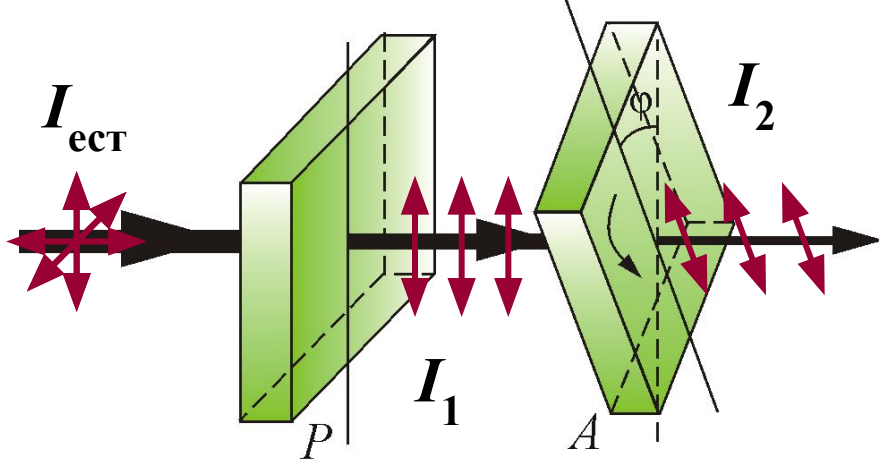
Естественный – свет со всевозможными равновероятными ориентациями вектора E



Плоскополяризованный – свет, в котором вектор E колеблется только в одной плоскости (в плоскости поляризации)



Поляризаторы: пластинка турмалина, призма Николя, поляроид.



$I_{\text{ест}}$ – интенсивность естественного света

I_1 – интенсивность поляризованного света, падающего на анализатор

I_2 – интенсивность на выходе из анализатора

$$I_1 = I_{\text{ест}} / 2$$

$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi \quad \text{– закон Малюса}$$

φ – угол между главной плоскостью анализатора и плоскостью поляризации падающего на него света

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad \text{– степень поляризации}$$

$$I_{2\min} = 0$$

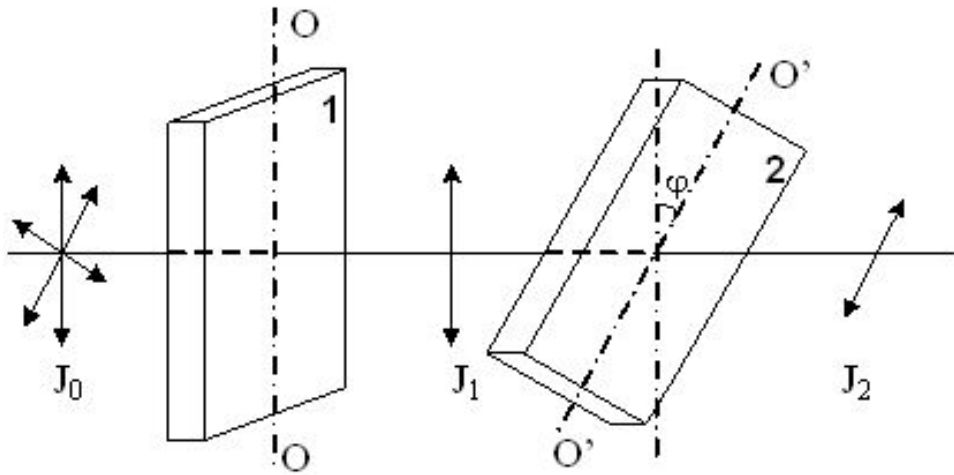
$$I_{2\max} = I_1$$

$$P = 0 \quad \text{– естеств. свет}$$

$$P = 1 \quad \text{– поляриз. свет}$$

Чем больше разность между I_{\max} и I_{\min} , тем больше степень поляризации.

На пути естественного света помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки **1** свет полностью поляризован. Если I_1 и I_2 – интенсивности света, прошедшего пластинки **1** и **2** соответственно, и $I_2 = I_1/4$, тогда угол между направлениями **OO** и **O'O'** равен...



Закон Малюса:

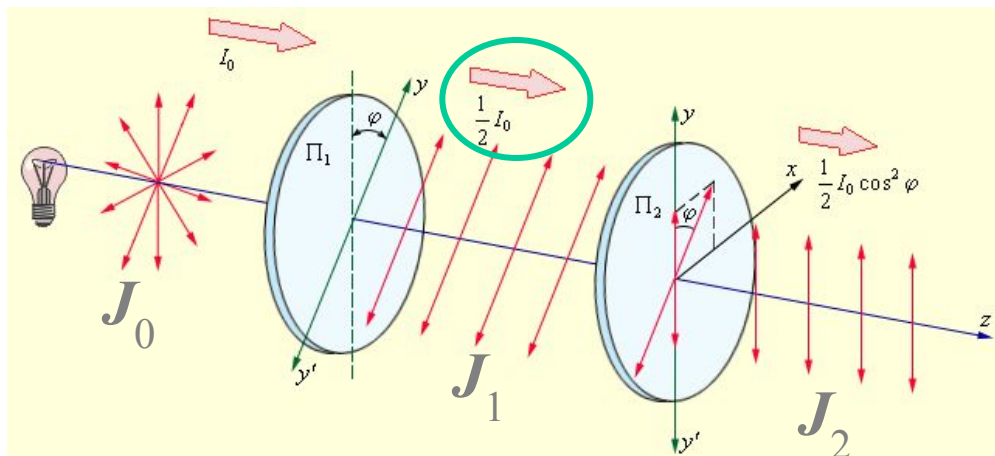
$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \cos^2 \varphi = \frac{1}{4}$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{2}$$

$$\varphi = 60^\circ$$

Пучок естественного света проходит через два идеальных поляризатора. Интенсивность естественного света равна I_0 , угол между плоскостями пропускания поляризаторов равен φ . Согласно закону Малюса интенсивность света после первого поляризатора равна ...



$I = I_0 \cos^2 \varphi$

$I = \frac{I_0}{2}$

$I = \frac{I_0}{2} \cos^2 \varphi$

$I = I_0$

Задание N 20

При пропускании пучка естественного света через два последовательных идеальных поляризатора, угол между осями свободного пропускания которых 45° , интенсивность пучка ...

$$I_1 = \frac{I_0}{2} \quad I_2 = I_1 \cos^2 \varphi \quad I_2 = \frac{I_0}{2} \cos^2 \varphi$$

$$\frac{I_2}{I_0} = \frac{\cos^2 \varphi}{2} = \frac{(\sqrt{2}/2)^2}{2} = \frac{1}{4}$$

Варианты ответов

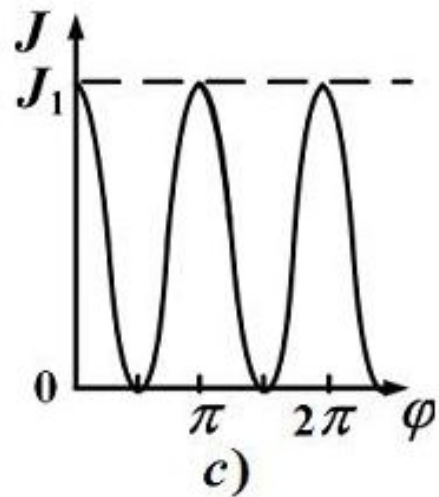
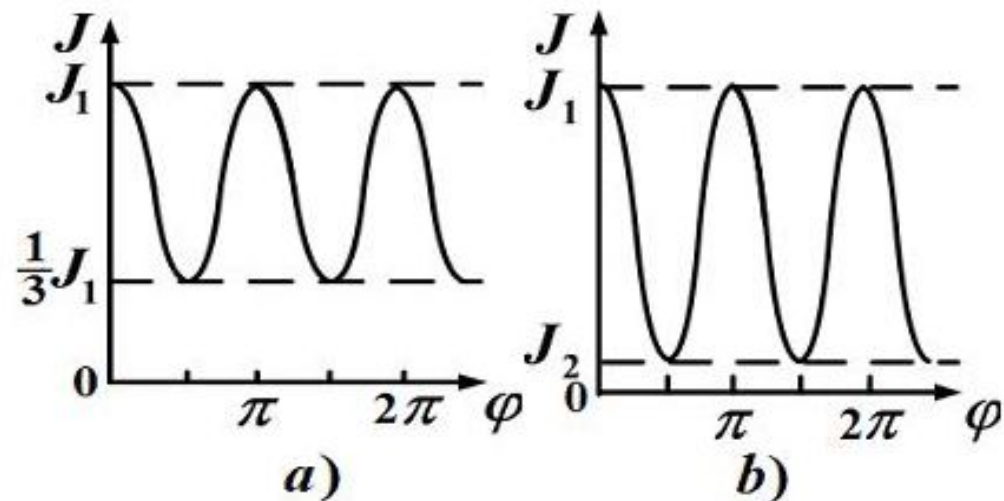
 уменьшится в 2 раза

 не изменится

 уменьшится в 4 раза

 уменьшится в $\sqrt{2}$ раз

На рисунке представлены графики зависимости интенсивности J света, прошедшего через поляризатор, для трех разных волн от угла поворота φ поляризатора.



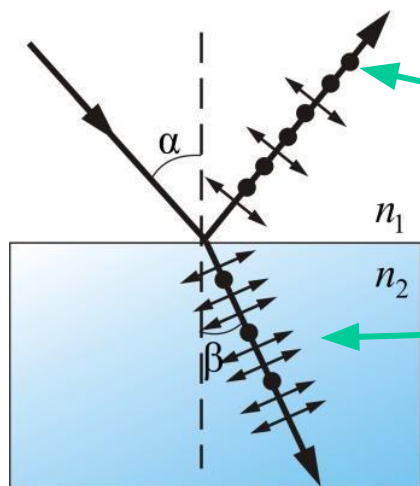
Чем больше разность между I_{\max} и I_{\min} , тем больше степень поляризации.

$$P_c > P_b > P_a$$

На основании графиков укажите верное соотношение степеней поляризации падающих на поляризатор трех световых волн.

- $P_a = P_b < P_c$
- $P_a = P_b = P_c$
- $P_a < P_b = P_c$
- $P_a < P_b < P_c$

Поляризация при отражении и преломлении

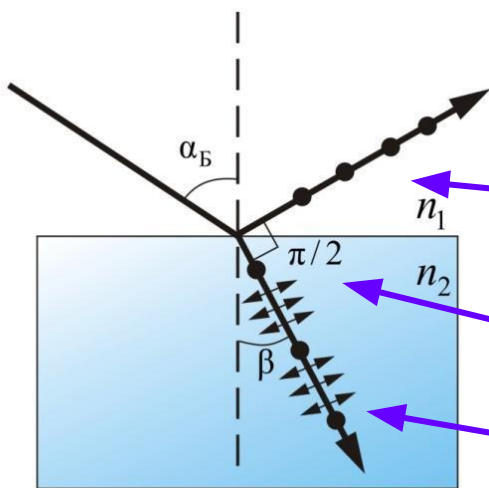


В отраженном луче преобладают колебания, **перпендикулярные** плоскости падения (на схеме больше точек);

В преломленном луче – колебания **параллельные** плоскости падения (на схеме больше стрелок).

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{Бр}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

– закон Брюстера



полностью поляризован

угол равен 90°

частично поляризован

При многократном преломлении степень поляризации увеличивается.

Задание N 25

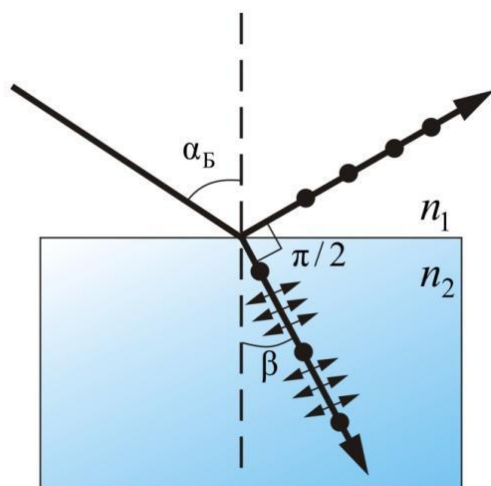
На диэлектрическое зеркало под углом Брюстера падает луч естественного света. Для отраженного и преломленного луча справедливы утверждения ...

Варианты ответов

- оба луча не поляризованы
- отраженный луч поляризован частично
- отраженный луч полностью поляризован
- преломленный луч полностью поляризован

Задание N 2

Естественный свет проходит через стеклянную пластинку и частично поляризуется. Если на пути света поставить еще одну такую же пластинку, то степень поляризации света...



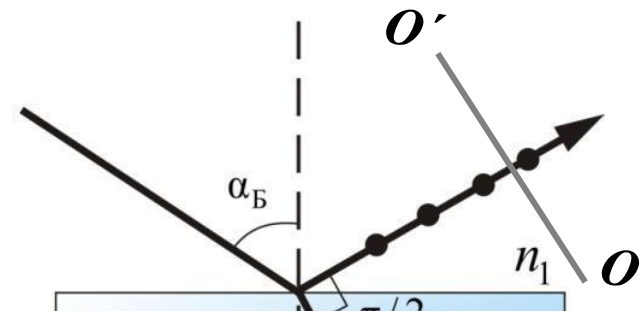
Варианты ответов

- увеличится
- не изменится
- уменьшится

Естественный свет проходит через стеклянную пластинку и частично поляризуется. Если на пути света поставить еще одну такую же пластинку, то степень поляризации света...

- увеличится
- не изменится
- уменьшится

На стеклянное зеркало под углом Брюстера падает луч естественного света. На пути отраженного луча расположена призма Николя (николь). Интенсивность отраженного луча равна I_1 . Если плоскость пропускания николя параллельна плоскости, в которой лежат падающий и отраженный лучи, то интенсивность луча, прошедшего николь, I_2 определяется как...



$$\varphi = 90^\circ \rightarrow J_2 = 0$$

Явление поляризации света при отражении правильно изображает рисунок (двухсторонними стрелками и точками указано направление колебаний светового вектора) ...

угол между преломленным и отраженным лучами 90°

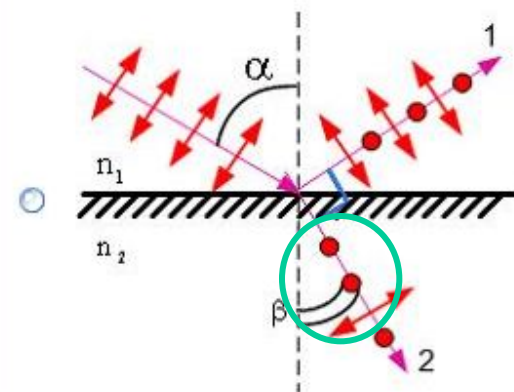
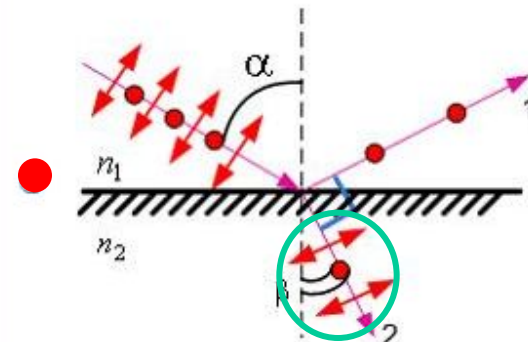
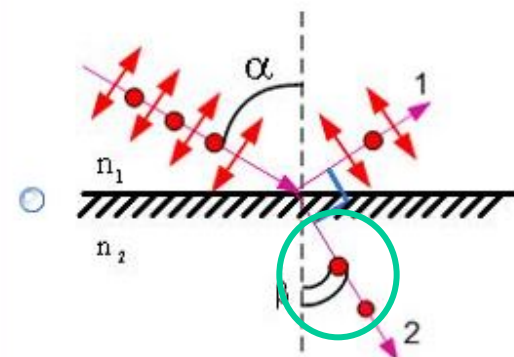


свет падает под углом Брюстера



отраженный луч полностью поляризован

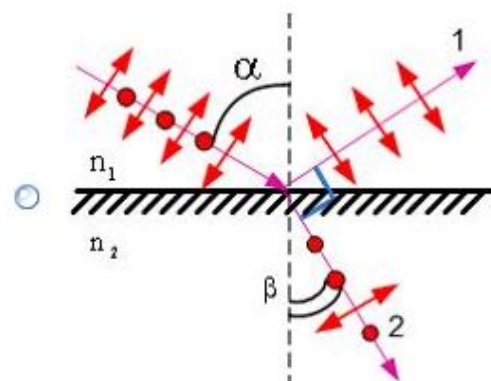
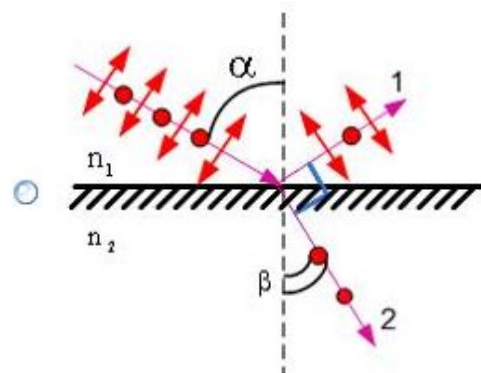
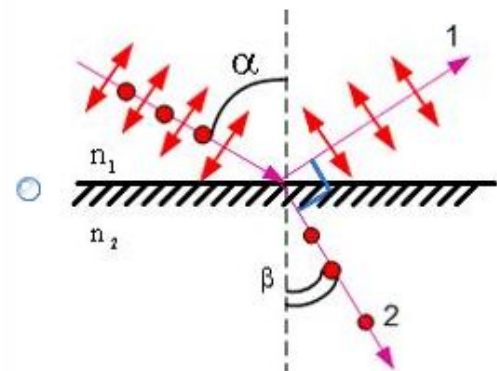
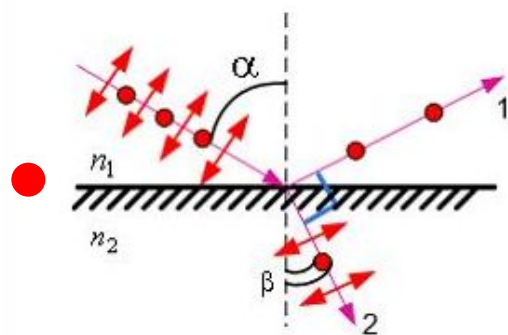
колебания в отраженном луче перпендикулярны плоскости падения



Задание N 9

Явление поляризации света при отражении правильно изображает рисунок (двухсторонними стрелками и точками указано направление колебаний светового вектора) ...

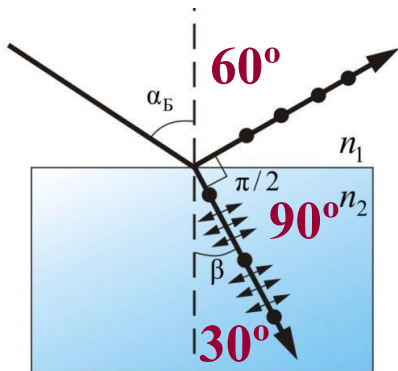
Варианты ответов



Задание N 11

Варианты ответов

При падении света из воздуха на диэлектрик отраженный луч полностью поляризован при угле падения 60° . При этом угол преломления равен...



$$\alpha = \alpha_{Br}$$

$$\alpha = 60^\circ \Rightarrow \beta = 180^\circ - 60^\circ - 90^\circ$$

$$\beta = 30^\circ$$

- 45°
- 90°
- 60°
- 30°

Задание N 27

Варианты ответов

При падении света из воздуха на диэлектрик отраженный луч полностью поляризован. Угол преломления равен 30° . Тогда показатель преломления диэлектрика равен...

$$\alpha = \alpha_{Br} \quad \beta = 30^\circ \Rightarrow \alpha = 60^\circ$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{Br} = n \quad \Rightarrow \quad n = \sqrt{3}$$

- 2,0
- 1,5
- $\sqrt{2}$
- $\sqrt{3}$

5. Дисперсия

Дисперсией света называется зависимость показателя преломления n вещества от частоты ν (длины волны λ) света.

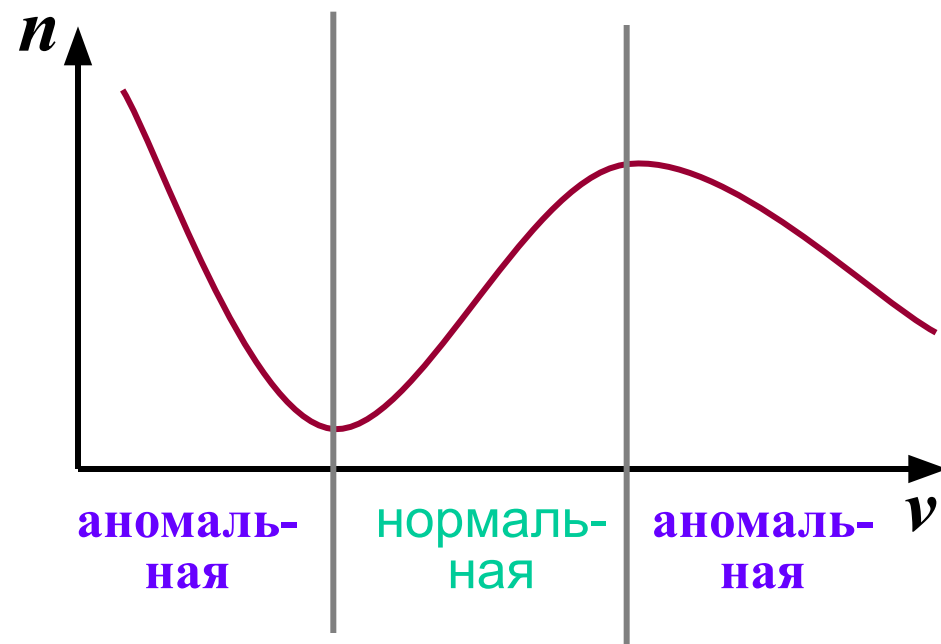
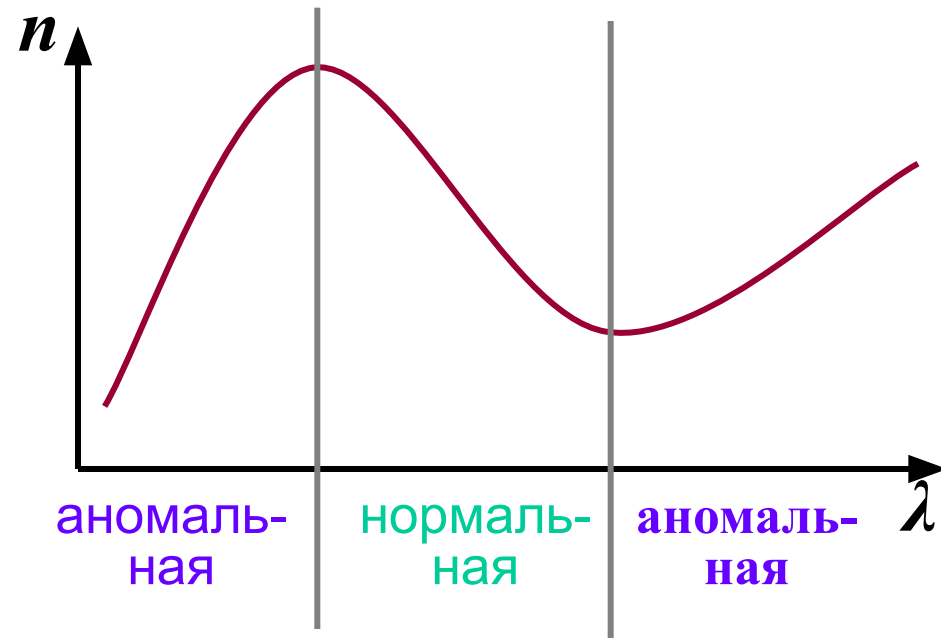
$$n = f(\nu) \quad \text{или} \quad n = f(\lambda) \quad \lambda = \frac{V}{\nu}$$

$$\frac{dn}{d\lambda} < 0; \quad \frac{dn}{d\nu} > 0$$

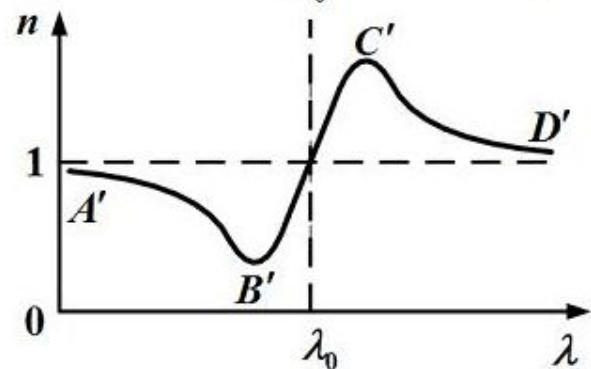
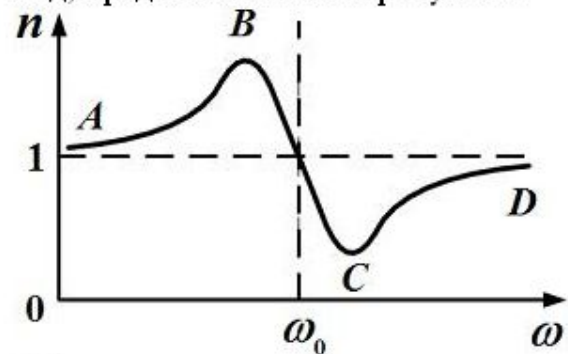
– нормальная дисперсия

$$\frac{dn}{d\lambda} > 0; \quad \frac{dn}{d\nu} < 0$$

– аномальная дисперсия



Графики дисперсионных кривых зависимостей показателя преломления среды от частоты ω и длины волны λ света имеют вид, представленный на рисунках:



Участки кривых AB и $C'D'$ соответствуют дисперсии ...

AB $\omega \uparrow$ $n \uparrow$

$\lambda \uparrow$ $n \downarrow$

нормальная дисперсия

- AB – нормальной, $C'D'$ – нормальной
- AB – аномальной, $C'D'$ – нормальной
- AB – нормальной, $C'D'$ – аномальной
- AB – аномальной, $C'D'$ – аномальной

$C'D'$ $\lambda \uparrow$ $n \downarrow$

$\omega \uparrow$ $n \uparrow$

нормальная дисперсия

КВАНТОВАЯ ОПТИКА

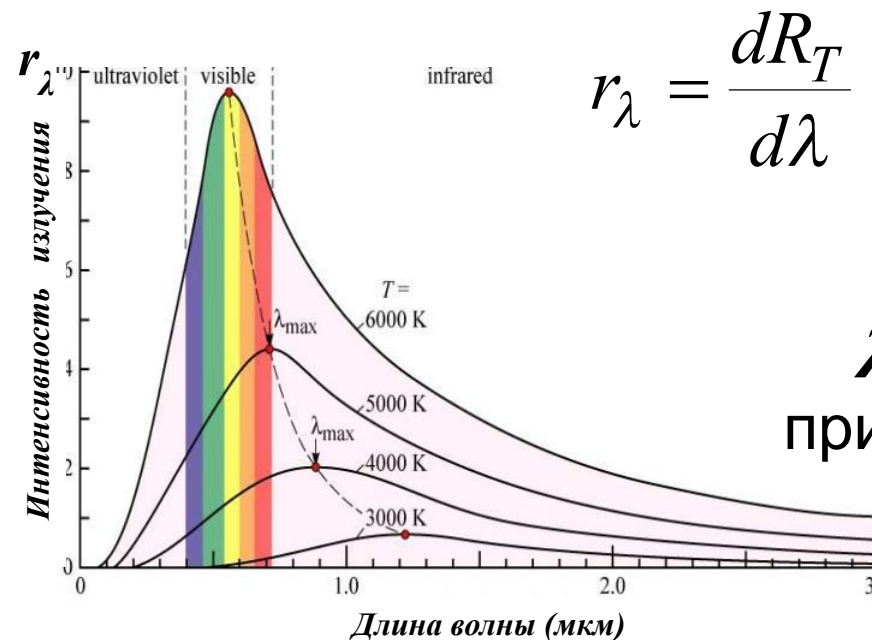
1. Тепловое излучение

Все тела, имеющие отличную от нуля абсолютную температуру – источники теплового излучения.

$$R_T = \frac{dW}{dSdt} \quad \text{– энергетическая светимость}$$

$$R = \sigma T^4 \quad \text{– закон Стефана-Больцмана}$$

На графике $r_\lambda(\lambda)$ R_T – площадь под кривой **при $\uparrow T$ площадь \uparrow**



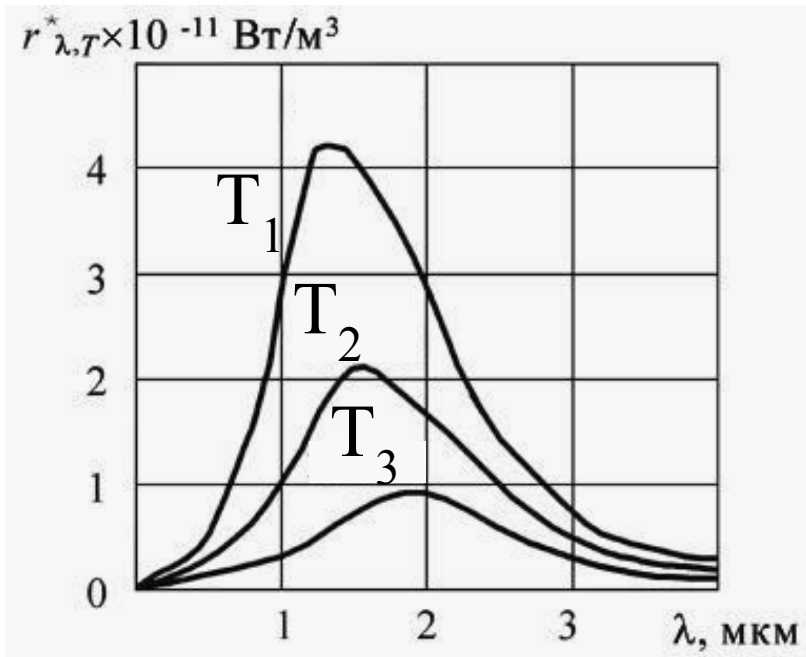
$$r_\lambda = \frac{dR_T}{d\lambda}$$

– спектральная плотность энергетической светимости

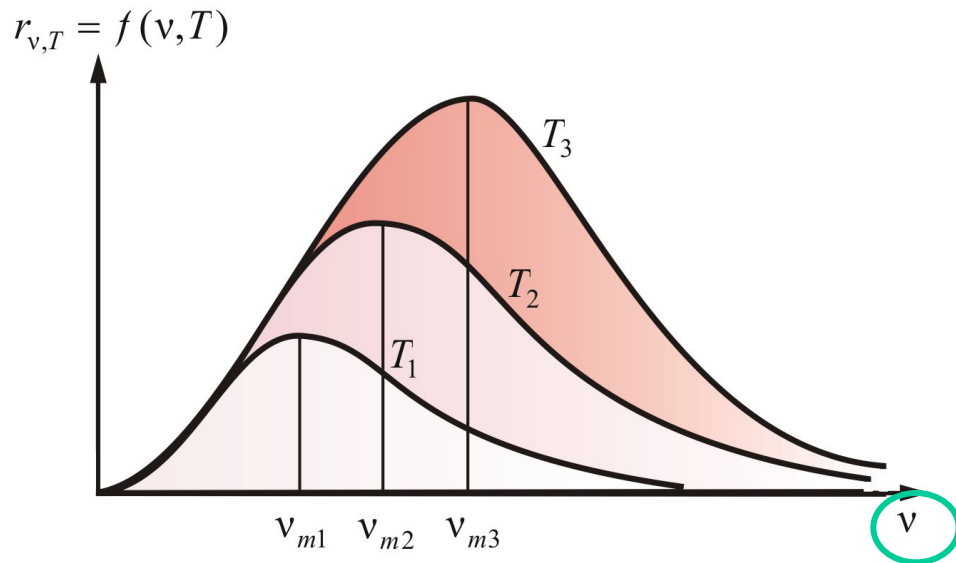
$$\lambda_{\text{max}} = b/T \quad \text{– закон Вина}$$

λ_{max} – длина волны, на которую приходится максимум функции $r_\lambda(\lambda)$

при $\uparrow T$, $\lambda_{\text{max}} \downarrow$

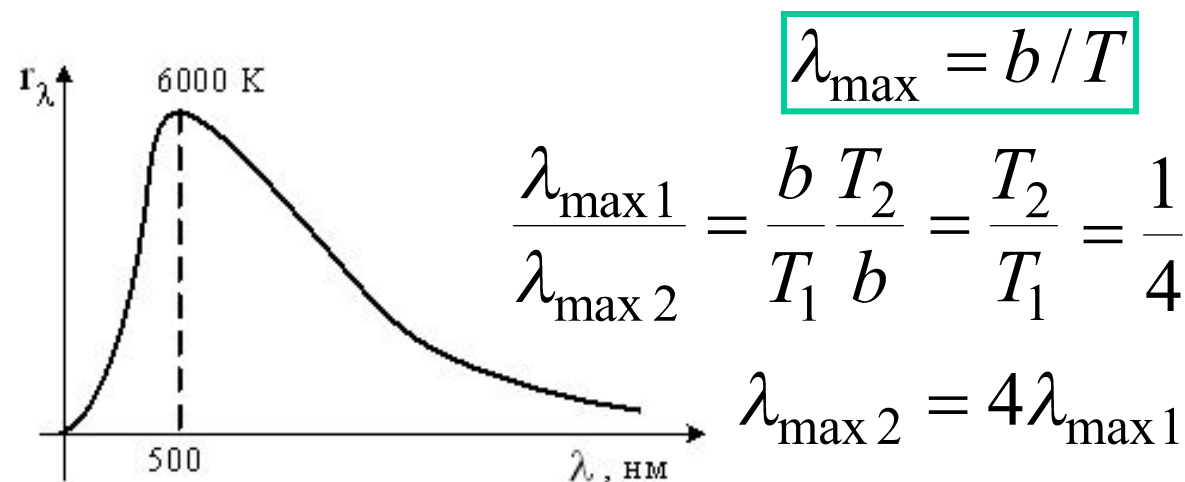


$$T_1 > T_2 > T_3$$



$$T_1 < T_2 < T_3$$

На рисунке показана кривая зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела от длины волны при $T=6000\text{K}$. Если температуру тела уменьшить в 4 раза, то длина волны, соответствующая максимуму излучения абсолютно черного тела, ...



- Варианты ответов:**
- увеличится в 2 раза
 - уменьшится в 4 раза
 - увеличится в 4 раза
 - уменьшится в 2 раза

Если температуру тела уменьшить в 2 раза, то энергетическая светимость абсолютно черного тела...

$R = \sigma T^4$

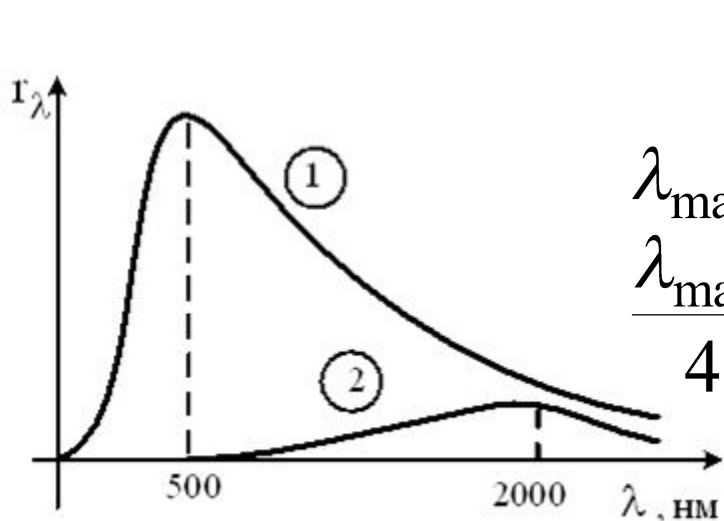
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sigma T_1^4}{\sigma T_2^4} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4 = 2^4 = 16$$

$$R_2 = R_1/16$$

- Варианты ответов:**
- уменьшится в 16 раз
 - увеличится в 2 раза
 - уменьшится в 4 раза
 - увеличится в 16 раз

На рисунке показаны кривые зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела от длины волны при разных температурах.

Если длина волны, соответствующая максимуму излучения, уменьшилась в 4 раза, то температура абсолютно черного тела ...



$$\lambda_{\max} = b/T$$

$$\lambda_{\max} \cdot T = b = \text{const}$$

$$\frac{\lambda_{\max}}{4} \cdot 4T = b = \text{const}$$

Варианты ответов:

- увеличилась в 4 раза
- уменьшилась в 2 раза
- уменьшилась в 4 раза
- увеличилась в 2 раза

Если кривая 2 соответствует спектру излучения абсолютно черного тела при температуре 1500 К, то кривая 1 соответствует температуре (в)...

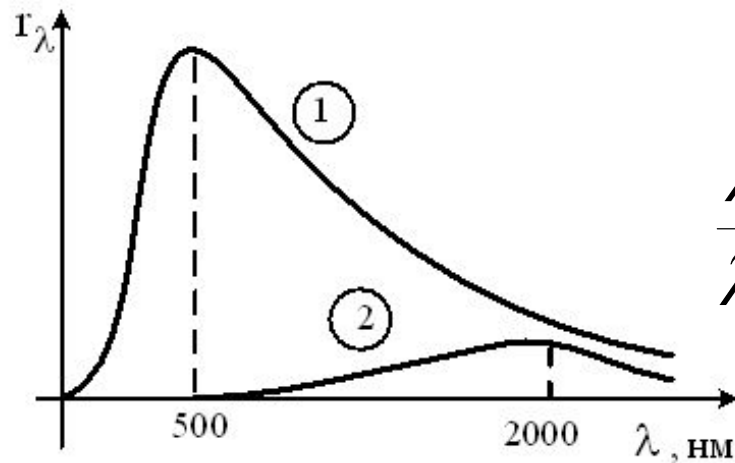
$$\frac{\lambda_{\max 1}}{\lambda_{\max 2}} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{500}{2000} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{1}{4} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow T_1 = 4 \cdot T_2$$

Ответы:

- 1000 К
- 3000 К
- 6000 К
- 750 К

Задание N 26

На рисунке показаны кривые зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела от длины волны при разных температурах. Если кривая 2 соответствует спектру излучения абсолютно черного тела при температуре 1450 К, то кривая 1 соответствует температуре (в К) ...



$$\lambda_{\max} = b/T$$

$$\frac{\lambda_{\max 1}}{\lambda_{\max 2}} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{4}$$

$$T_1 = 4 \cdot T_2$$

Варианты ответов

- 725
- 5800
- 1933
- 2900

Задание N 30

Абсолютно черное тело и серое тело имеют одинаковую температуру. При этом интенсивность излучения...

При сером излучении интенсивность лучей для каждой длины волны при любой температуре составляет неизменную долю от интенсивности излучения черного тела.

Варианты ответов

- одинаковая у обоих тел
- определяется площадью поверхности тела
- больше у серого тела
- больше у абсолютно черного тела

Задание N 11

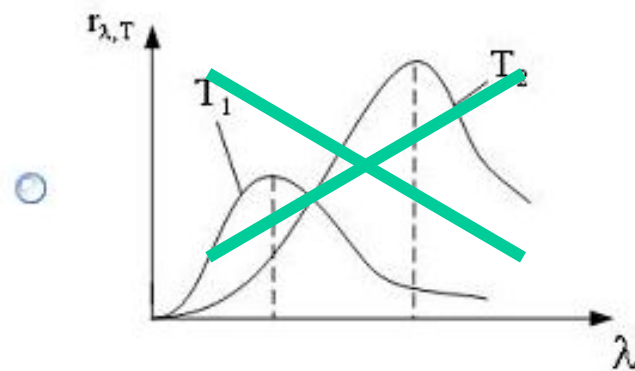
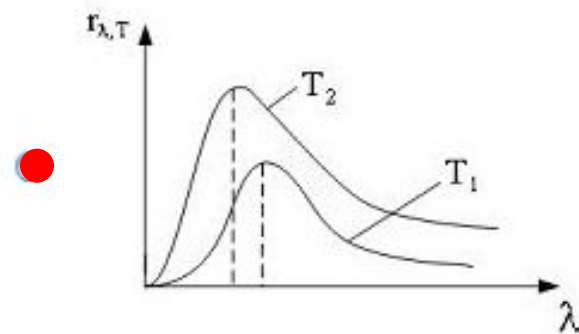
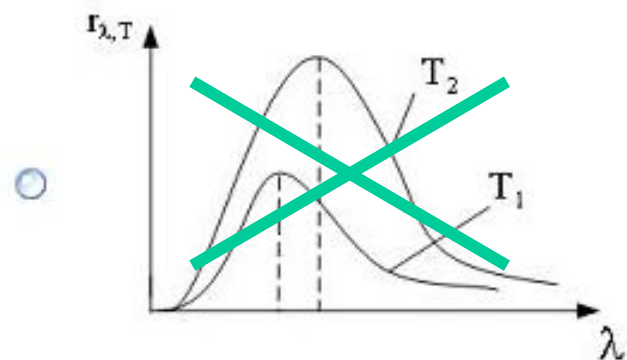
На рисунках по оси абсцисс отложена длина волны теплового излучения тела, по оси ординат – излучательная способность. Кривые соответствуют двум температура, причем $T_1 < T_2$. На качественном уровне правильно отражает законы излучения АЧТ рисунок ...

при $\uparrow T$ площадь \uparrow

при $\uparrow T$, $\lambda_{\max} \downarrow$

$$\lambda_{\max 2} < \lambda_{\max 1}$$

Варианты ответов



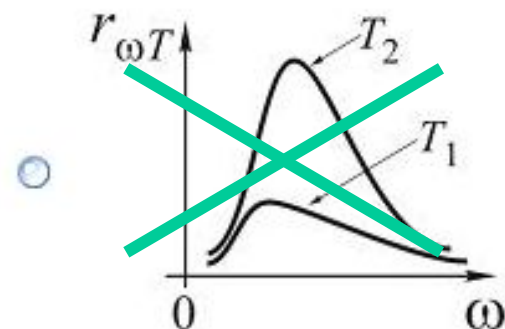
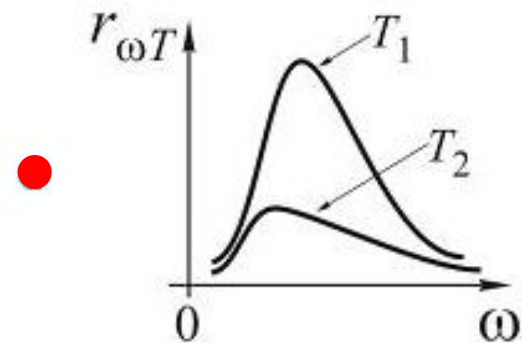
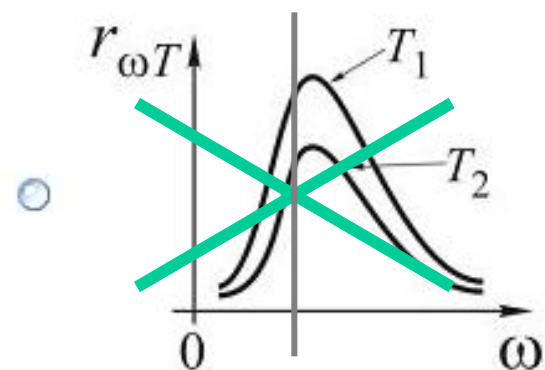
Задание N 29

Распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела в зависимости от частоты излучения для температур T_1 и T_2 ($T_1 > T_2$) верно представлено на рисунке ...

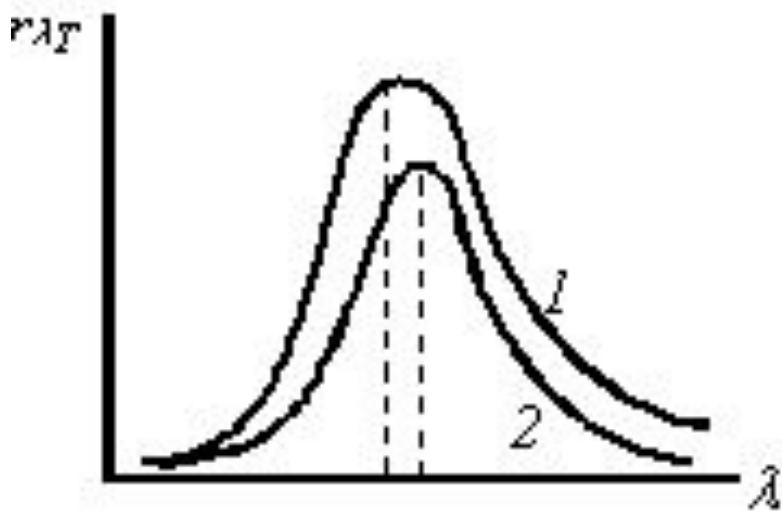
при $\uparrow T$ площадь \uparrow

при $\uparrow T$, $\lambda_{\max} \downarrow$, $\omega_{\max} \uparrow$

Варианты ответов



На рис. представлено распределение энергии в спектре абсолютно черного тела для двух температур: T_1 (кривая 1) и T_2 (кривая 2). Определите, как связаны температуры и энергетические светимости (R_T) тел.



На графике $r_{\lambda}(\lambda)$
 R_T – площадь под кривой

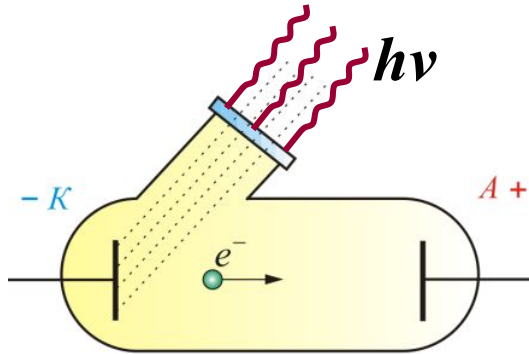
$$R_{T1} > R_{T2}$$

$$R_T \sim T^4 \Rightarrow T_1 > T_2$$

при $\uparrow T$, $\lambda_{\max} \downarrow$

$$\lambda_{\max 1} < \lambda_{\max 2} \Rightarrow T_1 > T_2$$

2. Фотоэффект



Внешний фотоэффект – испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения.

энергия фотона \rightarrow

$$h\nu = \frac{mV_{max}^2}{2} + A$$

– уравнение Эйнштейна

кинетическая энергия электрона \rightarrow

работа выхода электронов из металла (зависит только от свойств металла) \leftarrow

$h=6.62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка

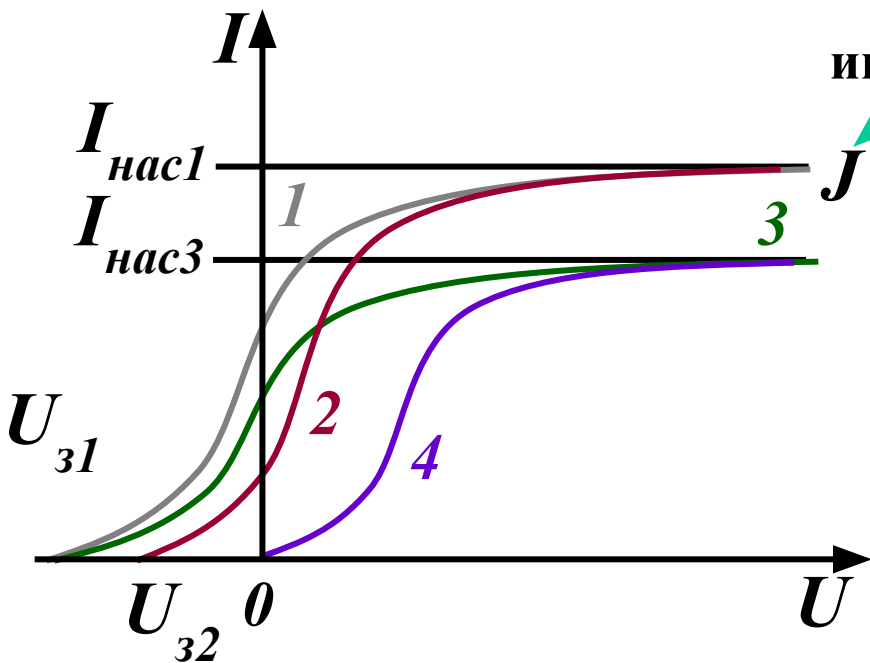
$$\nu_{кр} = \frac{A}{h} \quad \text{— красная граница фотоэффекта}$$

$$\left. \begin{aligned} \nu < \nu_{кр} \\ \lambda > \lambda_{кр} = \frac{c}{\nu_{кр}} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{фотоэффекта нет} \\ \text{энергии фотона недостаточно} \\ \text{для выбивания электрона} \end{array}$$

$$\frac{mV_{\max}^2}{2} = h\nu - A \quad \Rightarrow \quad \text{Для данного материала кинетическая энергия электрона зависит только от энергии падающего фотона (не зависит от их количества, т.е. интенсивности света)}$$

Вольтамперная характеристика – зависимость силы фототока I от напряжения между катодом и анодом U .

все выбитые электроны достигли анода $\Rightarrow I = I_{нас}$



интенсивность света

$$J \sim N_{\text{фот}} = N_{\text{электр}} \sim I_{нас} \Rightarrow I_{нас} \sim J$$

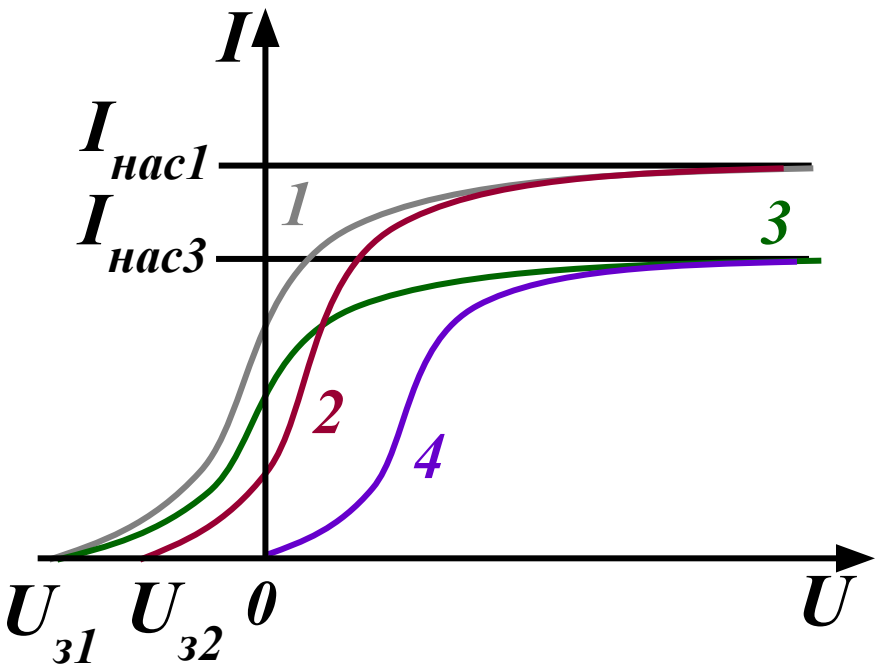
$$J_1 = J_2 > J_3 = J_4$$

заряд
электрона

задерживающее
напряжение

$$E_k = eU_з$$

все выбитые электроны вернулись обратно



$$hv = eU_3 + A$$

фотокатод не
меняется

$$\Rightarrow A = const \Rightarrow U_3 \sim \nu$$

$$\nu_1 = \nu_3 > \nu_2 > \nu_4$$

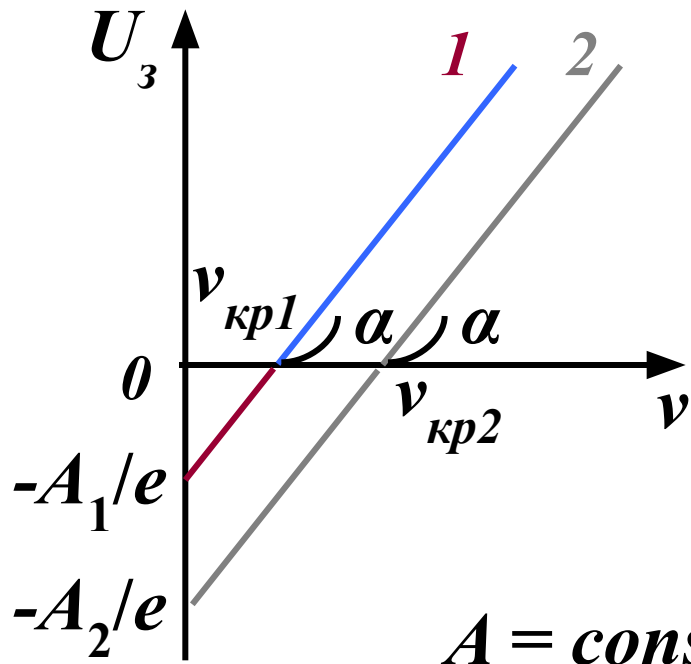
$$U_3 = 0 \Rightarrow \nu = \nu_{кр} \Rightarrow \nu_4 = \nu_{кр}$$

свет не
меняется

$$\Rightarrow \nu = const$$

$A \downarrow$

$$U_3 \uparrow \Rightarrow A_1 = A_3 < A_2 < A_4$$



$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{h}{e}$$

$$h\nu = eU_3 + A$$

$\nu < \nu_{kp}$ $U_3 = 0$ фотоэффекта нет

$\nu > \nu_{kp}$ $U_3 \sim \nu$

$\nu_{kp2} > \nu_{kp1} \Rightarrow A_2 > A_1$

$A = \text{const}$

$$h\nu_1 = eU_{31} + A; \quad h\nu_2 = eU_{32} + A$$

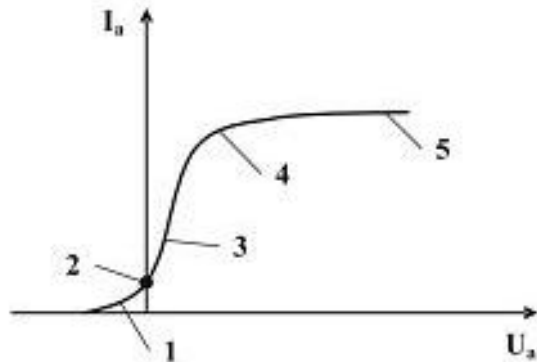
$$h(\nu_2 - \nu_1) = e(U_{32} - U_{31})$$

Для всех металлов угол наклона зависимостей $U_3(\nu)$ одинаков

$$\frac{h}{e} = \frac{\Delta U_3}{\Delta \nu} = \operatorname{tg}(\alpha) = \text{const}$$

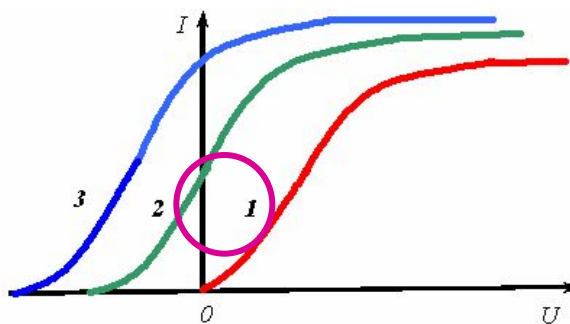
$$\nu = 0 \Rightarrow eU_3 = -A$$

Какой области ВАХ вакуумного диода соответствует утверждение: все электроны, вылетающие из катода в результате термоэлектронной эмиссии, достигают анода?



- 4
- 2
- 3
- 1
- 5

На рис. изображены зависимости фототока от напряжения (вольтамперные характеристики фотоэффекта), полученные при различных условиях. Какая кривая была получена при освещении металла монохроматическим излучением с длиной волны, равной *красной границе* фотоэффекта?

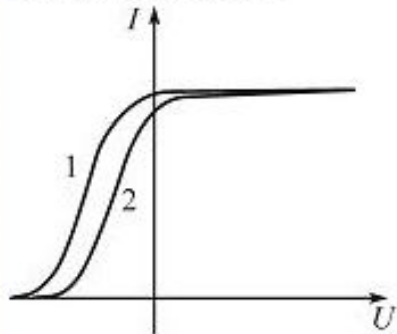


$$U_{3I} = 0 \Rightarrow \nu_1 = \nu_{кр}$$

Задание N 6

Варианты ответов

На рисунке приведены две вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если E – освещенность фотоэлемента, а ν – частота падающего на него света, то для данного случая справедливы соотношения...



$$I_{нас1} = I_{нас2} \Rightarrow J_1 = J_2$$

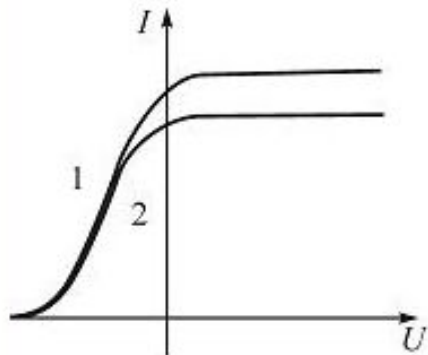
$$U_{z1} > U_{z2} \Rightarrow \nu_1 > \nu_2$$

- $\nu_1 = \nu_2, E_1 < E_2$
- $\nu_1 > \nu_2, E_1 = E_2$
- $\nu_1 < \nu_2, E_1 = E_2$
- $\nu_1 = \nu_2, E_1 > E_2$

Задание N 3

Варианты ответов

На рисунке приведены две вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если E – освещенность фотоэлемента, а ν – частота падающего на него света, то...

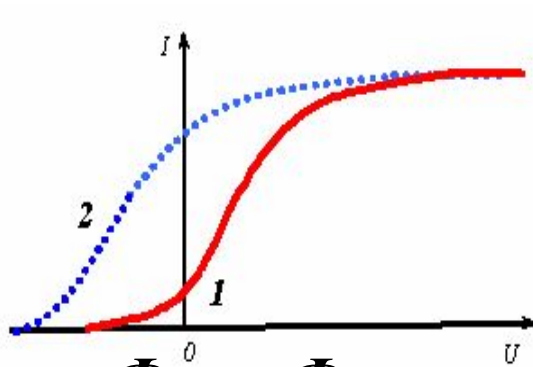


$$I_{нас1} > I_{нас2} \Rightarrow J_1 > J_2$$

$$U_{z1} = U_{z2} \Rightarrow \nu_1 = \nu_2$$

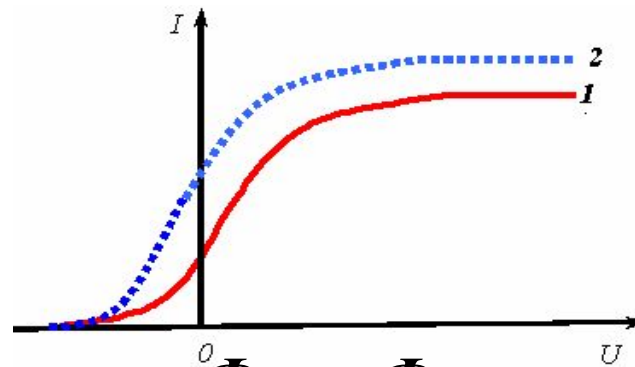
- $\nu_1 = \nu_2, E_1 < E_2$
- $\nu_1 > \nu_2, E_1 = E_2$
- $\nu_1 = \nu_2, E_1 > E_2$
- $\nu_1 < \nu_2, E_1 = E_2$

На рисунках изображены зависимости фототока от напряжения между катодом и анодом, полученные при освещении двух металлов монохроматическим излучением с одинаковой частотой. Для каждого случая сравните работы выхода электронов из металлов (A) и световые потоки (Φ).



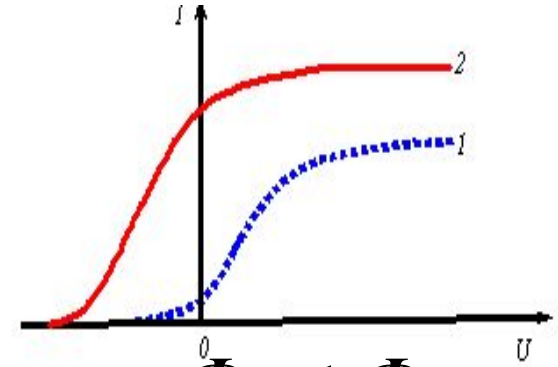
$$\Phi_1 = \Phi_2$$

$$A_1 > A_2$$



$$\Phi_1 < \Phi_2$$

$$A_1 = A_2$$



$$\Phi_1 < \Phi_2$$

$$A_1 > A_2$$

$$\Phi \sim J \quad J \sim I_{\text{нас}} \Rightarrow \Phi \sim I$$

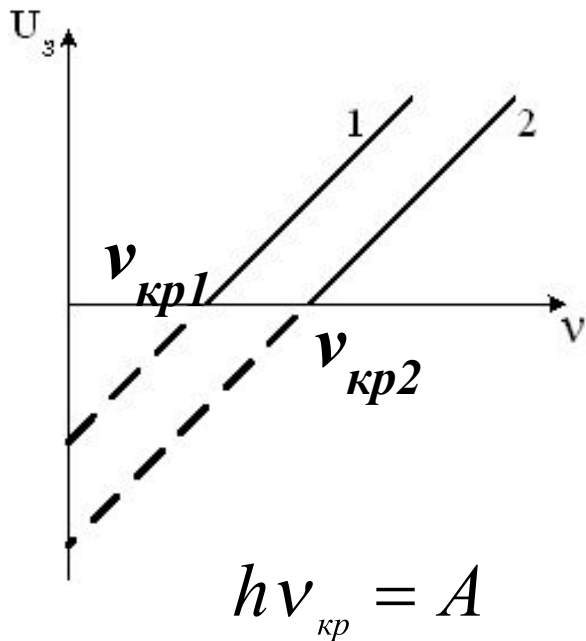
$$\nu = \text{const}$$

$$eU_3 = h\nu - A$$

$$A \uparrow$$

$$U_3 \downarrow$$

На рисунке представлены две зависимости задерживающего напряжения U_3 от частоты падающего света ν для внешнего фотоэффекта. Укажите верные утверждения.



$\nu_{кр2} > \nu_{кр1} \Rightarrow A_2 > A_1$

$\lambda_{кр2} < \lambda_{кр1}$

— $A_2 < A_1$, где A_1 и A_2 – значения работы выхода электронов из соответствующего металла

✓ С помощью этих зависимостей можно определить значение постоянной Планка

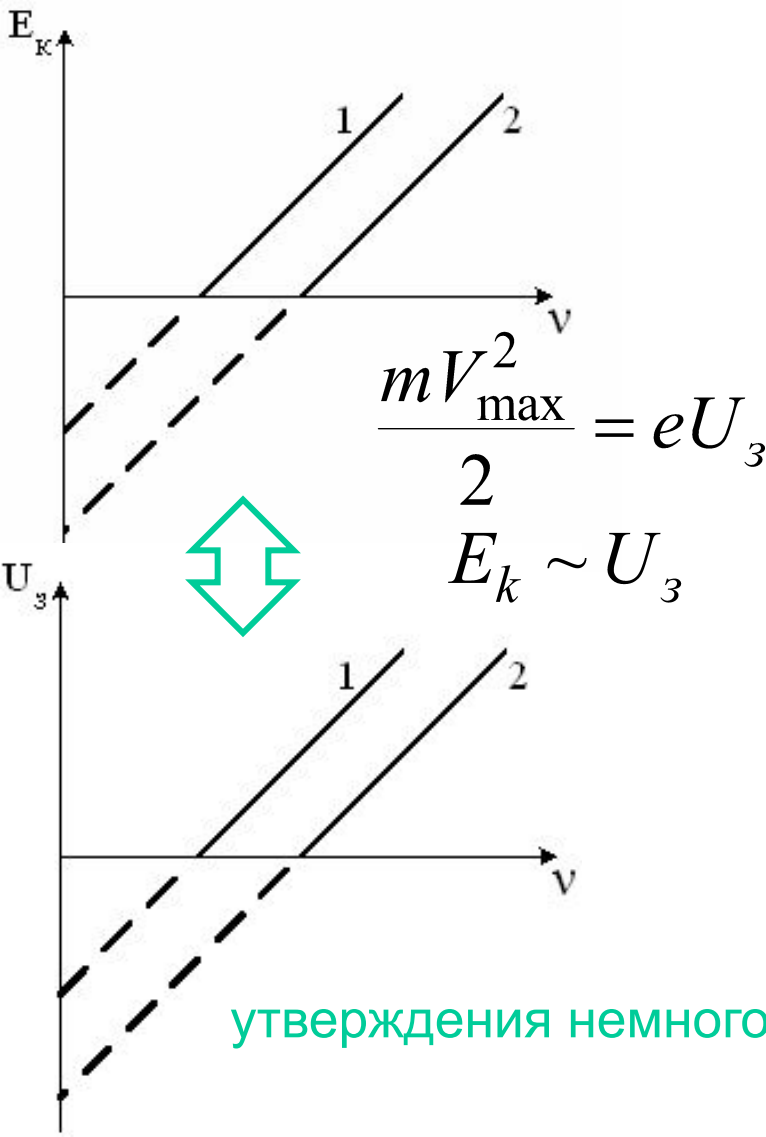
✓ Зависимости получены для двух различных металлов

✓ $\lambda_{01} > \lambda_{02}$, где λ_{01} и λ_{02} – значения красной границы фотоэффекта для соответствующего металла

— Зависимости получены для двух различных освещенностей одного металла

✓ Угол наклона зависимостей 1 и 2 одинаков

На рисунке представлены две зависимости задерживающего напряжения U_3 от частоты падающего света ν для внешнего фотоэффекта. Укажите верные утверждения.



$A_2 > A_1$, где A_1 и A_2 – значения работы выхода электронов из соответствующего металла

С помощью этих зависимостей можно определить значение постоянной Планка

Зависимости получены для двух различных металлов

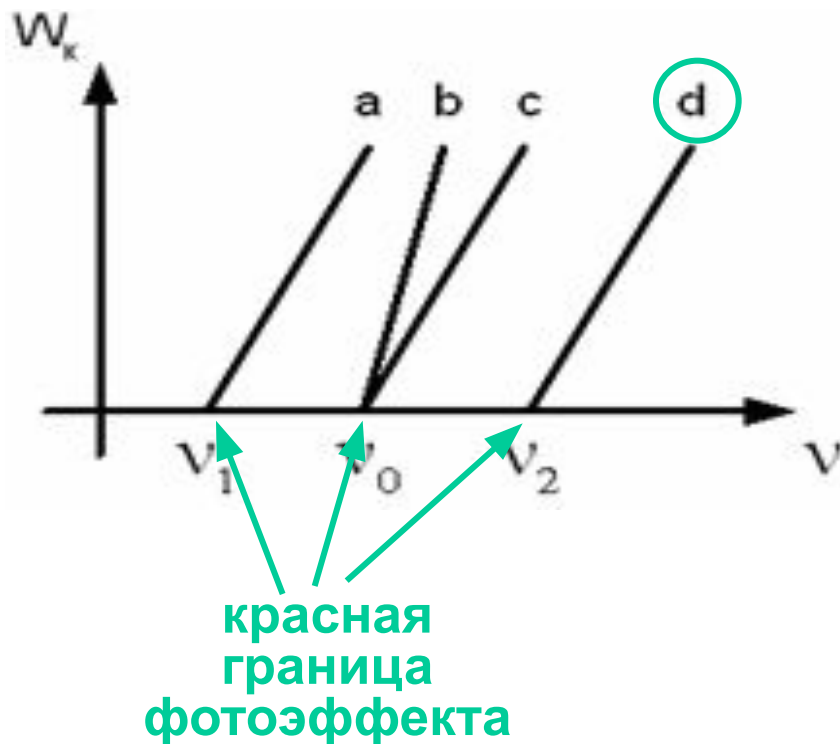
$\lambda_{01} < \lambda_{02}$, где λ_{01} и λ_{02} – значения красной границы фотоэффекта для соответствующего металла

Зависимости получены для двух различных освещенностей одного металла

Угол наклона зависимостей 1 и 2 одинаков

утверждения немного отличаются от предыдущих!

На приведенном рисунке на осях x и y отложены соответственно: частота света ν и кинетическая энергия W_k фотоэлектронов, вырываемых с поверхности фотокатода. Для некоторого материала фотокатода исследованная зависимость на рисунке представлена линией c .



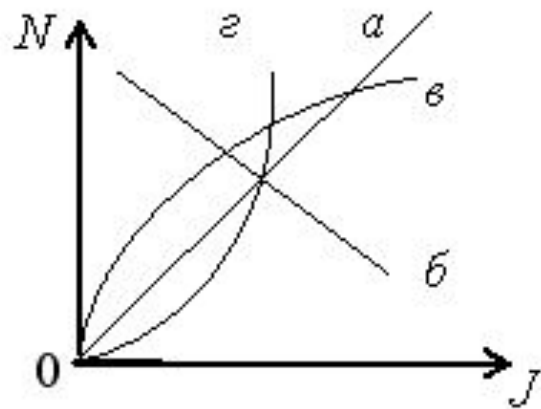
Укажите линию, которая будет соответствовать случаю, когда материал фотокатода заменен на материал с большей работой выхода.

$$A_2 > A_1 \Rightarrow \nu_{кр2} > \nu_{кр1}$$

Задание N 28

Варианты ответов

На металлическую пластину падает монохроматический свет, при этом количество N фотоэлектронов, вылетающих с поверхности металла в единицу времени зависит от интенсивности J света согласно графику ...



а

г

б

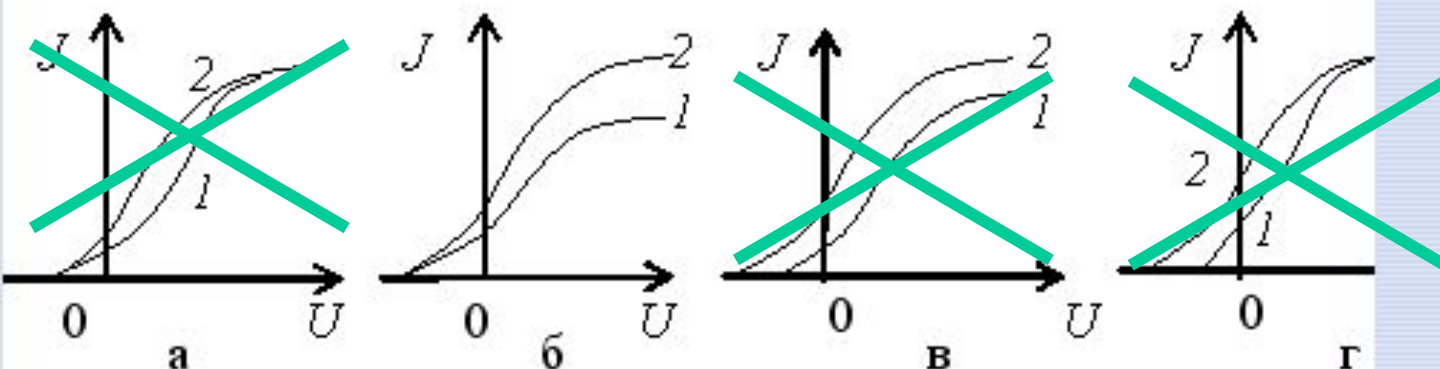
в

$$J \sim N_{\text{фот}} = N_{\text{электр}} \Rightarrow J \sim N_{\text{электр}}$$

Задание N 4

Варианты ответов

Если длина волны света, падающего на фотозаэлемент остаётся неизменной, то при увеличении падающего светового потока $\Phi_2 > \Phi_1$ изменения в вольтамперной характеристике правильно представлено на рисунке



б

г

а

в

Задание N 3

Варианты ответов

Кинетическая энергия электронов при внешнем фотоэффекте увеличивается, если...

$$h\nu = \frac{mV_{\max}^2}{2} + A$$

уменьшается энергия кванта падающего кванта

увеличивается работа выхода электронов из металла

уменьшается работа выхода электронов из металла

увеличивается интенсивность светового потока

3. Свойства фотонов (квантов света)

Энергия: $E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ $h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – постоянная Планка

Скорость: $c = 3 \cdot 10^8$ – скорость света

Масса: $E = h\nu = mc^2 \Rightarrow m = \frac{h\nu}{c^2}$

Импульс: $p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$

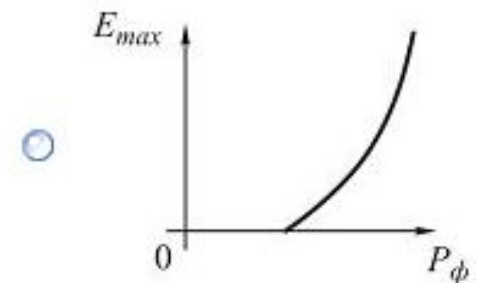
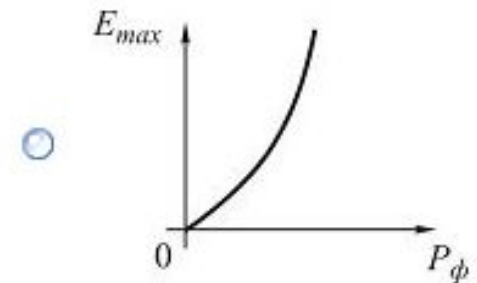
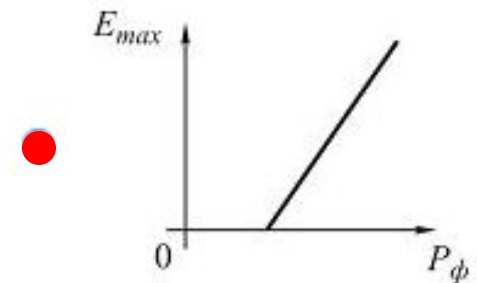
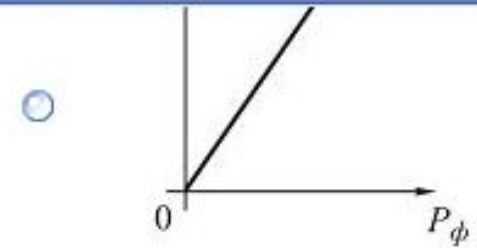
При фотоэффекте максимальная кинетическая энергия E_{max} фотоэлектронов зависит от импульса падающих фотонов согласно графику ...

$$h\nu = \frac{mV_{max}^2}{2} + A$$

$$\frac{mV_{max}^2}{2} = h\nu - A$$

$$p_\phi = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c} \Rightarrow E = h\nu = p_\phi \cdot c$$

$$\frac{mV_{max}^2}{2} = p_\phi c - A$$



Задание N 2

Импульс фотона имеет наибольшее значение в диапазоне частот ...

$$p = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow \lambda \uparrow p \downarrow$$

$$\lambda_{\text{инфр}} > \lambda_{\text{вид}} > \lambda_{\text{уф}} > \lambda_{\text{рентг}}$$

Варианты ответов

- инфракрасного излучения
- рентгеновского излучения
- ультрафиолетового излучения
- видимого излучения

Задание N 2

Два источника излучают свет с длиной волны 375 нм и 750 нм. Отношение импульсов фотонов, излучаемых первым и вторым источником равно...

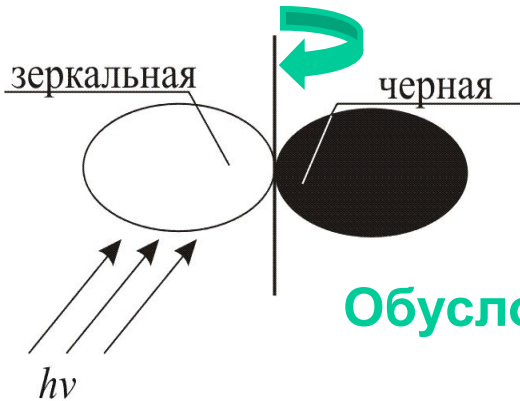
$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{h}{\lambda_1} \frac{\lambda_2}{h} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{375}{750} = \frac{1}{2}$$

Варианты ответов

1/4 2 1/2 4

4. Давление света

Давление света – давление, которое оказывает электромагнитное излучение, падающее на поверхность тела



Зависит от:

- интенсивности света
- отражающей способности тела

Обусловлено: импульсом, переданным поверхности падающими фотонами

Давление при падении света под углом α к нормали:

$$P = \frac{J}{c} (1 + K) \cos^2 \alpha$$

J – интенсивность падающего света; c – скорость света;

K – коэффициент отражения:

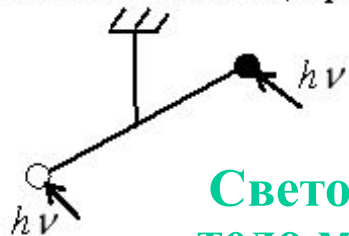
$K=1$ – зеркальное тело

$K=0$ – абсолютно черное тело

Световое давление на абсолютно черное тело в два раза меньше, чем на зеркальное.

Задание N 31

На легкой нерастяжимой нити подвешено коромысло с двумя лепестками, один из которых зачернен, а другой – абсолютно белый. Установка освещается нормально падающим светом, при этом коромысло ...



Световое давление на черное тело меньше, чем на белое.

Варианты ответов

- повернется против часовой стрелки
- повернется по часовой стрелке
- останется неподвижным
- направление поворота зависит от длины волны света

Задание N 30

Одинаковое количество фотонов с длиной волны λ нормально падает на непрозрачную поверхность. Наибольшее давление свет будет оказывать в случае ...

Чем больше импульс падающих фотонов, тем большее давление они оказывают

$$p = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow p \uparrow \lambda \downarrow$$

Световое давление на черное тело меньше, чем на зеркальное.

Варианты ответов

- $\lambda = 700$ нм, поверхность – идеальное зеркало
- $\lambda = 400$ нм, поверхность – идеальное зеркало
- $\lambda = 700$ нм, поверхность абсолютно черная
- $\lambda = 400$ нм, поверхность абсолютно черная

Задание N 4

На зеркальную пластинку падает поток света. Если число фотонов, падающих на единицу поверхности в единицу времени, уменьшить в 2 раза, а зеркальную пластинку заменить черной, то световое давление ...

$$P = \frac{J}{c}(1 + K) \cos^2 \alpha$$

$$J \sim N_{\text{фот}} \Rightarrow J_2 = J_1 / 2$$

$$K_1 = 1 \quad K_2 = 0 \Rightarrow P_2 = P_1 / 4$$

Варианты ответов

- уменьшится в 4 раза
- уменьшится в 2 раза
- увеличится в 2 раза

Задание N 2

Один и тот же световой поток падает нормально на абсолютно белую и абсолютно черную поверхность. Отношение давления света на первую и вторую поверхности равно ...

$$J_2 = J_1 \quad K_1 = 1 \quad K_2 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_2 = P_1 / 2$$

Варианты ответов

- 4
- 1/2
- 2
- 1/4

Если увеличить в 2 раза объемную плотность световой энергии, то давление света ...

$$P = \frac{J}{c}(1 + K) \cos^2 \alpha$$

$w = J/c$ – объёмная плотность энергии излучения

Параллельный пучок света падает по нормали на зачерненную плоскую поверхность, производя давление P . При замене поверхности на зеркальную давление света не изменяется, если угол падения (отсчитываемый от нормали к поверхности) будет равен...

$$K_1 = 0 \quad \alpha_1 = 0 \quad P_1 = P$$

$$K_2 = 1 \quad \alpha_2 = ? \quad P_2 = P$$

Варианты ответов:

- 45°
- 0°
- 30°
- 60°

$$\cos^2 \alpha_1 = 2 \cos^2 \alpha_2 \Rightarrow \cos^2 \alpha_2 = \frac{1}{2} \quad \cos \alpha_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

увеличится в 4 раза

останется неизменным

увеличится в 2 раза

Параллельный пучок свет, падающий на зеркальную плоскую поверхность, под углом $\alpha=60^\circ$ (отсчитываемым от нормали к поверхности), производит давление P . Если тот же пучок света направить по нормали на зачерненную поверхность, то световое давление будет равно...

$$K_1 = 1 \quad \alpha_1 = 60^\circ \quad P_1 = P$$

$$K_2 = 0 \quad \alpha_2 = 0 \quad P_2 = ?$$

$$P = \frac{J}{c} (1 + K) \cos^2 \alpha$$

$$P_1 = \frac{J}{c} 2 \cos^2 \alpha_1$$

$$P_2 = \frac{J}{c} \cos^2 \alpha_2$$

$$\Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{\cos^2 \alpha_2}{2 \cos^2 \alpha_1} = \frac{1}{2(0.5)^2} = 2$$

Варианты ответов:

•P

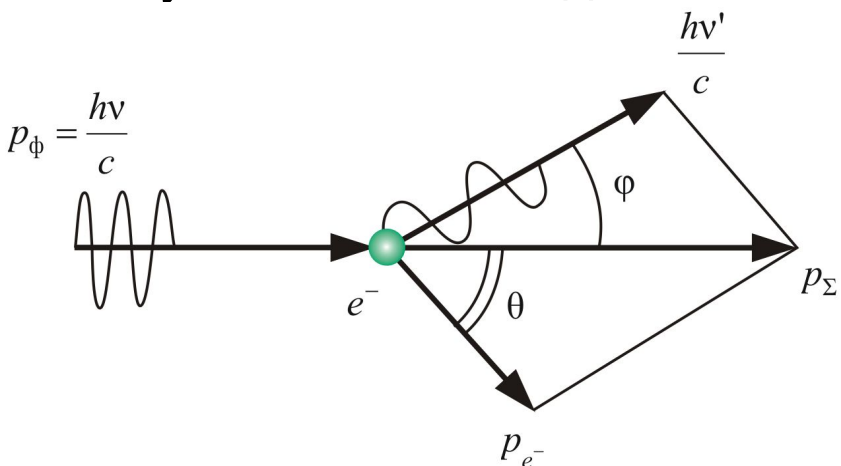
•2P

•P/2

•4P

5. Эффект Комптона

Эффект Комптона – рассеяние фотонов электромагнитного излучения на свободных электронах.



p_ϕ – импульс фотона до столкновения;

p_{e^-} – импульс электрона;

p'_ϕ – импульс фотона после столкновения;

φ – угол рассеяния фотона.

ЗСИ

$$\vec{p}_\phi = \vec{p}'_\phi + \vec{p}_{e^-}$$

энергия электрона до и после столкновения

ЗСЭ

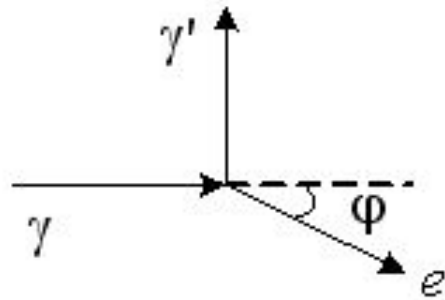
$$h\nu + W_0 = h\nu' + W$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_e (1 - \cos\varphi) \text{ – изменение длины волны падающего фотона}$$

$$\lambda_e = 2,426 \text{ пм}$$

$$\varphi \uparrow \Rightarrow \Delta\lambda \uparrow \Rightarrow \lambda' \uparrow \quad \nu' \downarrow$$

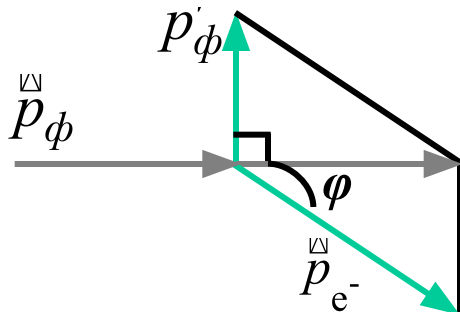
На рисунке показаны направления падающего фотона (γ), рассеянного фотона (γ') и электрона отдачи (e). Угол рассеяния 90° , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол $\varphi = 30^\circ$. Если импульс падающего фотона P_ϕ , то импульс электрона отдачи равен...



ЗСИ

$$\vec{P}_\phi = \vec{P}'_\phi + \vec{P}_{e^-}$$

$p_{e^-} - ?$



$$p_\phi = p_{e^-} \cos \varphi \quad p_{e^-} = \frac{p_\phi}{\cos \varphi}$$

$$p_{e^-} = \frac{2p_\phi}{\sqrt{3}}$$

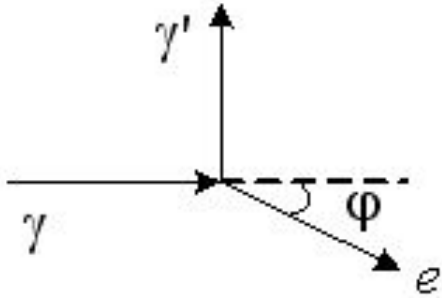
$\frac{2}{\sqrt{3}} P_\phi$

$1,5 P_\phi$

$1,5\sqrt{3} P_\phi$

$\sqrt{3} P_\phi$

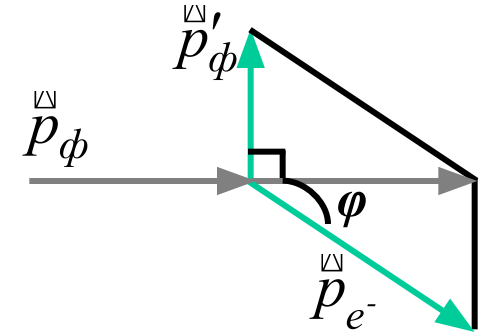
На рисунке показаны направления падающего фотона (γ), рассеянного фотона (γ') и электрона отдачи (e). Угол рассеяния 90° , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол $\varphi=30^\circ$. Если импульс падающего фотона P_ϕ , то импульс рассеянного фотона равен...



ЗСИ

$$\vec{p}_\phi = \vec{p}'_\phi + \vec{p}_{e^-}$$

$$p'_\phi - ?$$

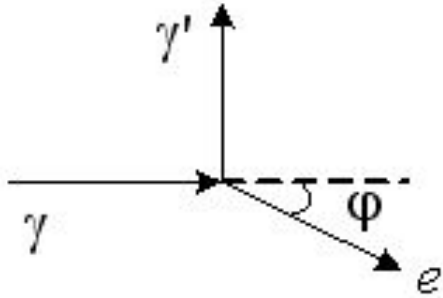


$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{p'_\phi}{p_\phi}$$

$$p'_\phi = p_\phi \operatorname{tg} \varphi$$

$$p'_\phi = \frac{p_\phi}{\sqrt{3}}$$

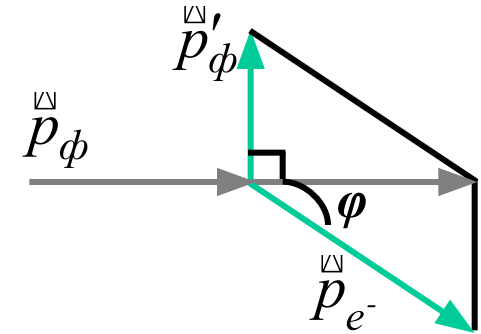
На рисунке показаны направления падающего фотона (γ), рассеянного фотона (γ') и электрона отдачи (e). Угол рассеяния 90° , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол $\varphi=30^\circ$. Если импульс электрона отдачи $3(\text{МэВ}\cdot\text{с})/\text{м}$, то импульс рассеянного фотона (в тех же единицах) равен...



ЗСИ

$$\vec{p}_\phi = \vec{p}'_\phi + \vec{p}_{e^-}$$

$$p'_\phi - ?$$



$$\varphi = 30^\circ$$



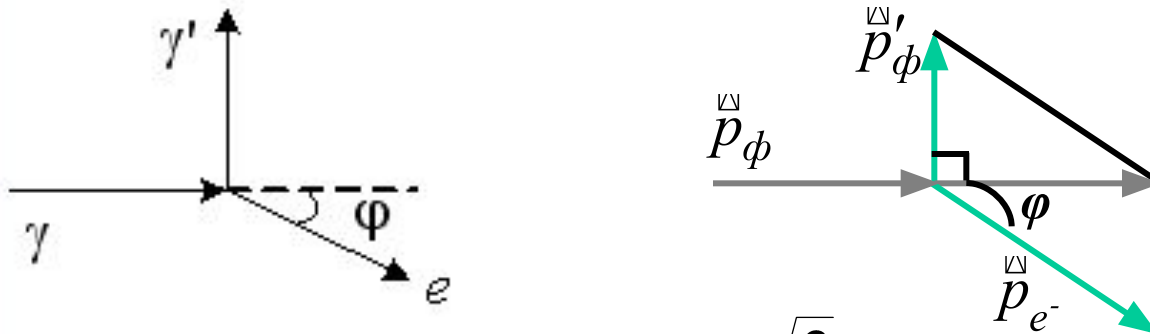
$$p'_\phi = p_{e^-} / 2 = 1,5$$

$$(\text{МэВ}\cdot\text{с})/\text{м}$$

Задание N 14

Варианты ответов

На рисунке показаны направления падающего фотона (γ), рассеянного фотона (γ') и электрона отдачи (e). Угол рассеяния 90° , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол $\varphi = 30^\circ$. Если импульс электрона отдачи P_e , то импульс падающего фотона равен...



$$p_\phi = p_e \cos \varphi = p_e \frac{\sqrt{3}}{2}$$

- $0,5\sqrt{3} \cdot P_{\hat{a}}$
- $1,5 P_e$
- $\sqrt{3} P_e$
- $2\sqrt{3} P_e$