

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

$$\Delta\varphi = \text{const} \quad \text{волны монохроматические} \quad \left\{ \begin{array}{l} \lambda_1 = \lambda_2 \\ \nu_1 = \nu_2 \end{array} \right.$$

- 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

**интерференция
не наблюдается!**

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

Условия максимумов и минимумов при Интерференции

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

Условия минимума при интерференции:

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

волны складываются в противофазе

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

Условия **максимума** при интерференции:

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

волны складываются в одной фазе

опт. разность 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 ($\kappa=0, 1, 2$) ...

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

колебаний

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

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

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...

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

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

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 ...

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

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

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

100 нм

400 нм

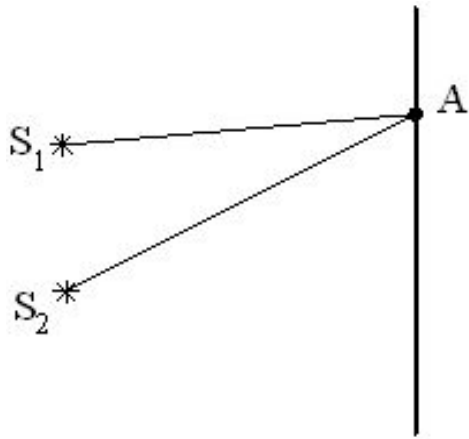
800 нм

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. А приходят волны от двух когерентных источников S_1 и S_2 .
 Длина волны в вакууме 600 нм.



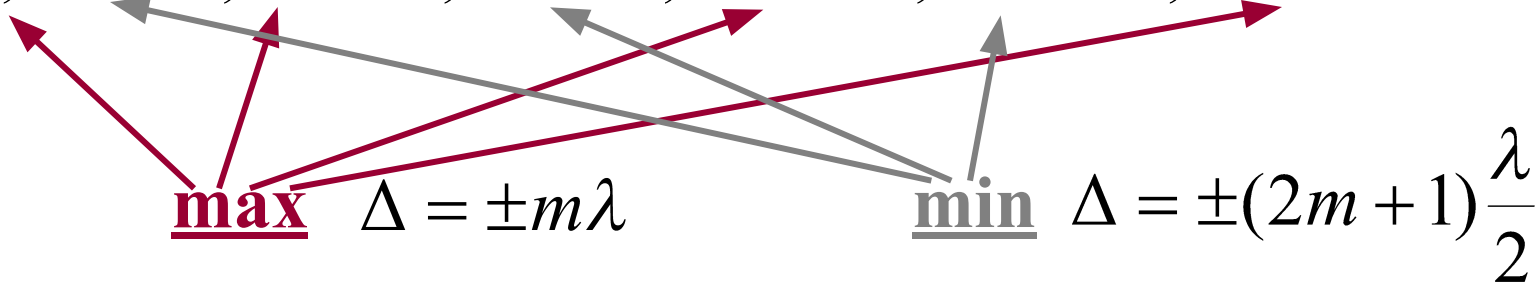
При какой минимальной разности фаз в т.А
 будет наблюдаться минимум интерференции?

min $\Delta\varphi = \pm(2m + 1)\pi$ $m=0$

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

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

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



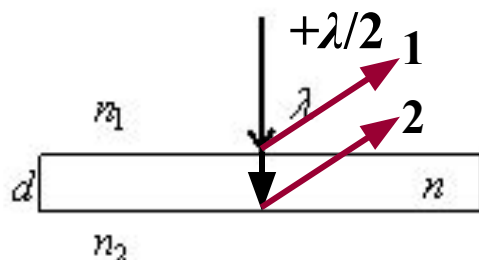
max $\Delta = \pm m\lambda$

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

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

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

$2dn$

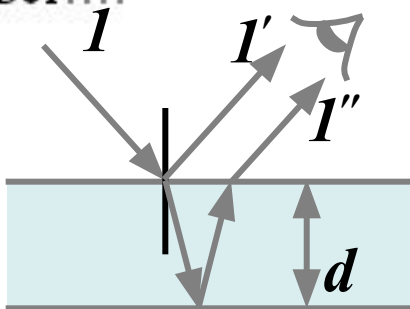
$2dn_1$

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

При отражении от оптически менее плотной среды появляется дополнительная разность хода $\lambda/2$

Задание N 26

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



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

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

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

Варианты ответов

- 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....

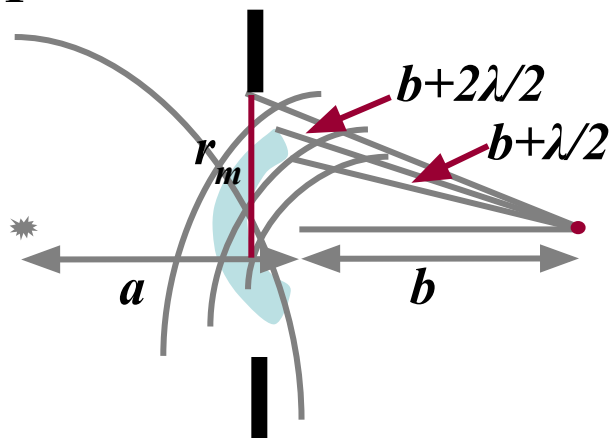
$$n \downarrow \Rightarrow \Delta \downarrow \Rightarrow \lambda \downarrow$$

Варианты ответов

- станет красным
- не изменится
- станет синим

2. Дифракция света

Дифракция – огибание волнами препятствий, соизмеримых с длиной волны.



Метод зон Френеля

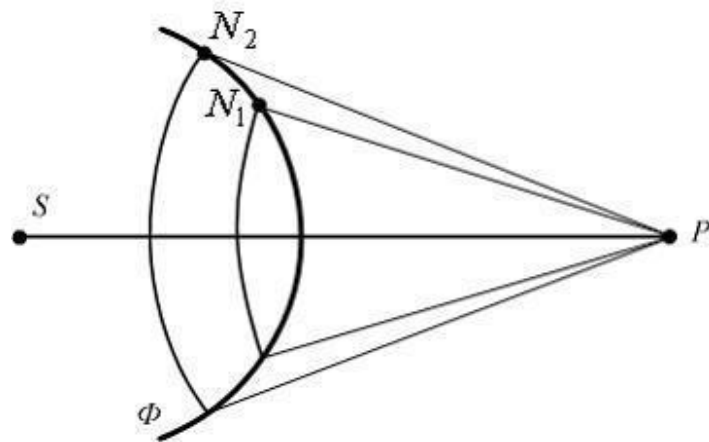
Расстояния от краев зон до точки наблюдения различаются на $\lambda/2$

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

Если открыты

1. *все зоны:* $A = \frac{A_1}{2}$ $J \sim A^2$ $J = \frac{J_1}{4}$
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...



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

$$\Delta = \lambda/2$$

Задание N 12

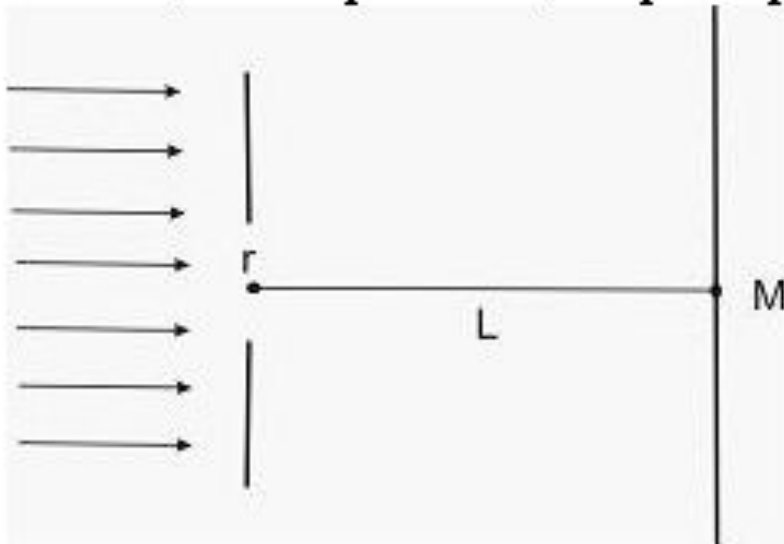
Если открыть все n зон Френеля, то интенсивность света от первой зоны Френеля...

$$A = \frac{A_1}{2} \quad J \sim A^2 \quad J = \frac{J_1}{4}$$

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 ...



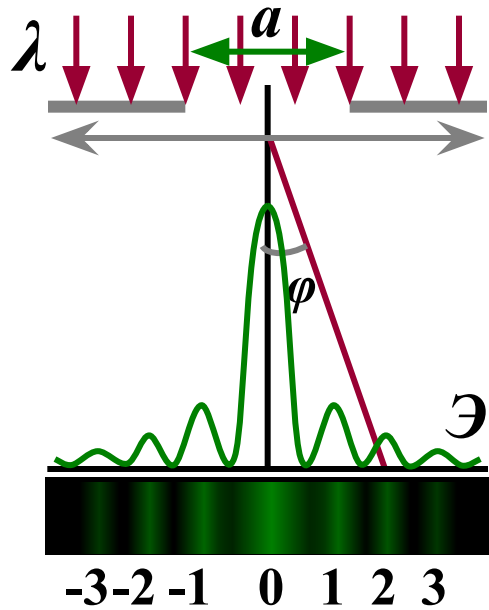
Варианты ответа:

- 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



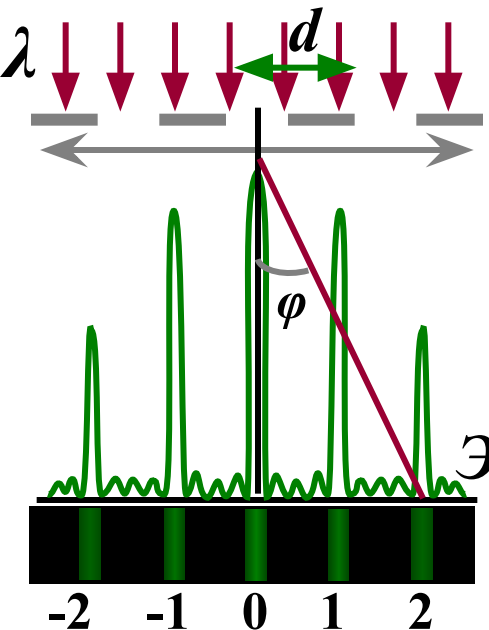
$$a \sin \varphi = \pm m \lambda \quad - \text{условие } \mathbf{min}$$

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

φ – угол наблюдения **max** или **min**

m – порядок минимума или максимума

Дифракция Фраунгофера на решетке



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

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

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

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

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

$$\lambda_{\text{кр}} > \lambda_{\text{фиол}} \quad \rightarrow \quad \varphi_{\text{кр}} > \varphi_{\text{фиол}}$$

(сильнее отклоняются красные лучи)

Варианты ответов

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

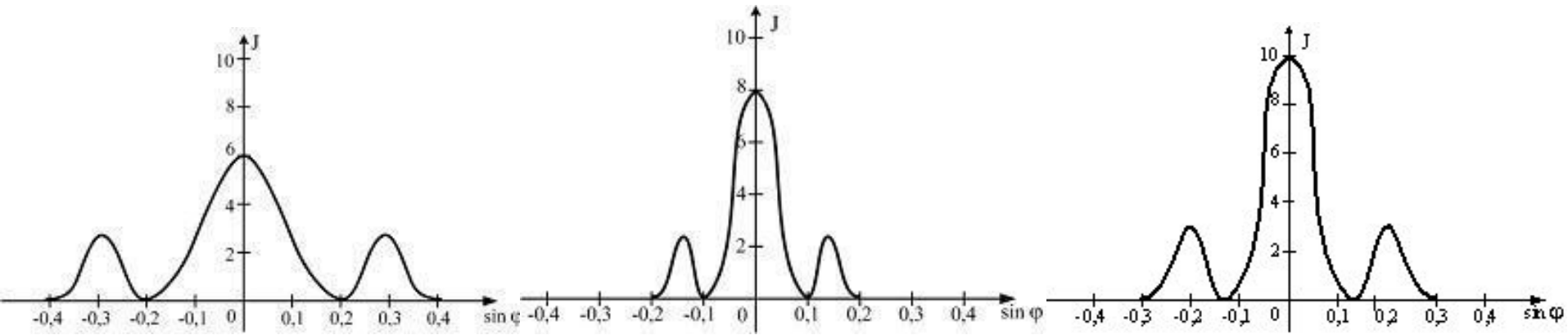
Задание N 13

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

Варианты ответов

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

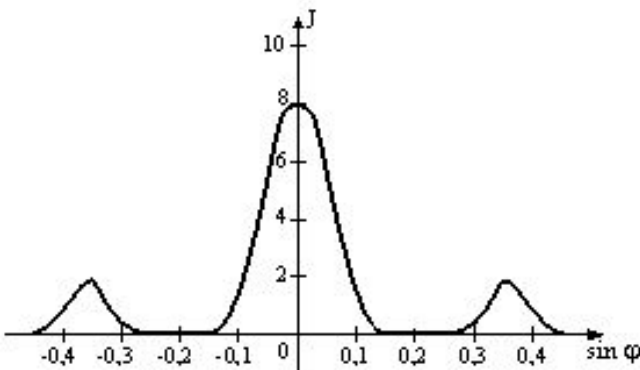
Имеются 4 решетки с различными постоянными d , освещаемые одним и тем же монохроматическим излучением различной интенсивности. Какой рисунок иллюстрирует положение главных максимумов, создаваемых дифракционной решеткой с **наименьшей постоянной решетки?**



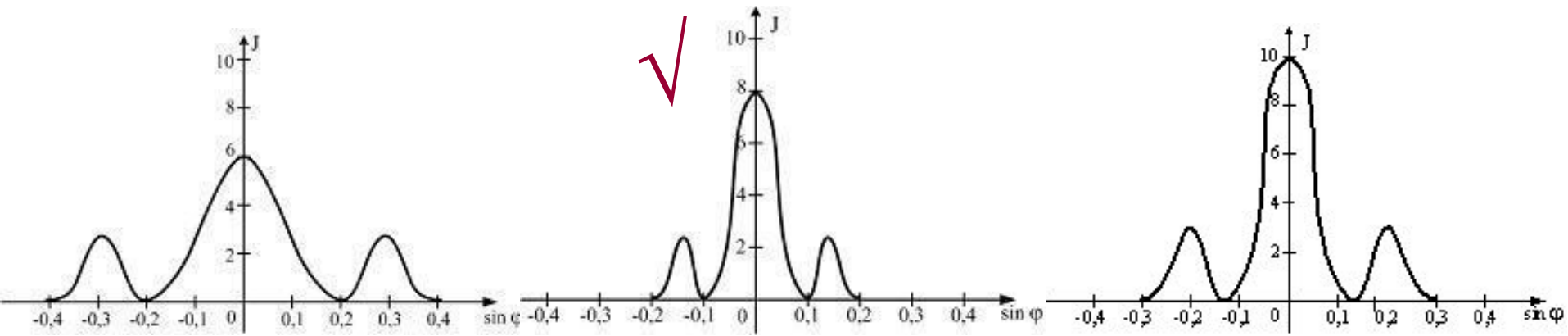
max: $d \sin \varphi = \pm m \lambda$

$m = \text{const}$ $\lambda = \text{const}$

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?

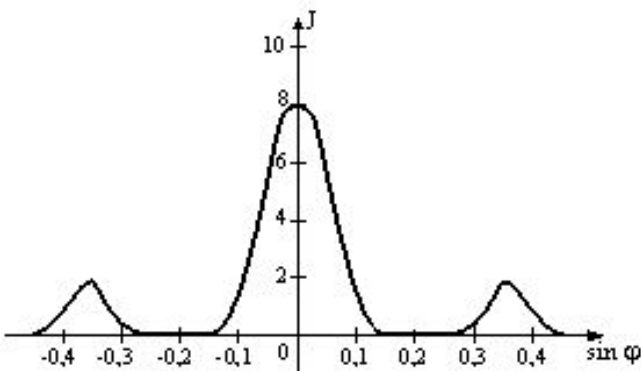


max: $d \sin \varphi = \pm m \lambda$

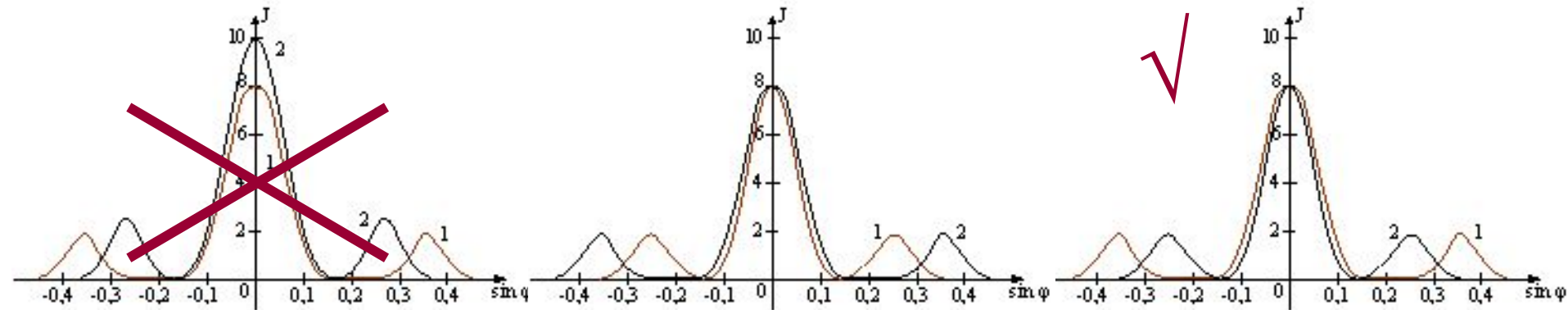
$m = \text{const}$ $d = \text{const}$

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

$\lambda = \frac{v}{\nu}$ \rightarrow чем больше ν , тем меньше λ



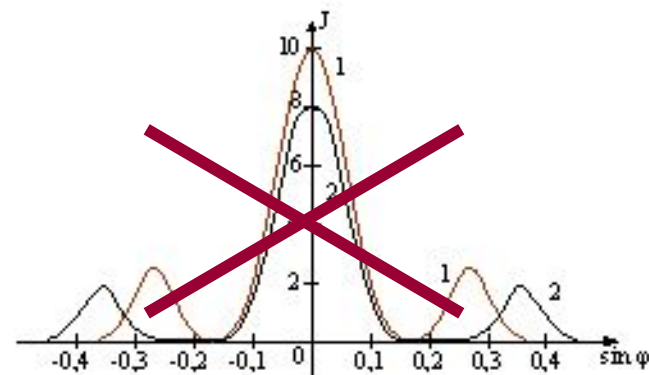
На дифракционную решетку падает излучение одинаковой интенсивности с длинами волн λ_1 и λ_2 . Укажите рисунок, иллюстрирующий положение главных максимумов, создаваемых дифракционной решеткой, если $\lambda_1 > \lambda_2$? (J – интенсивность, φ – угол дифракции).



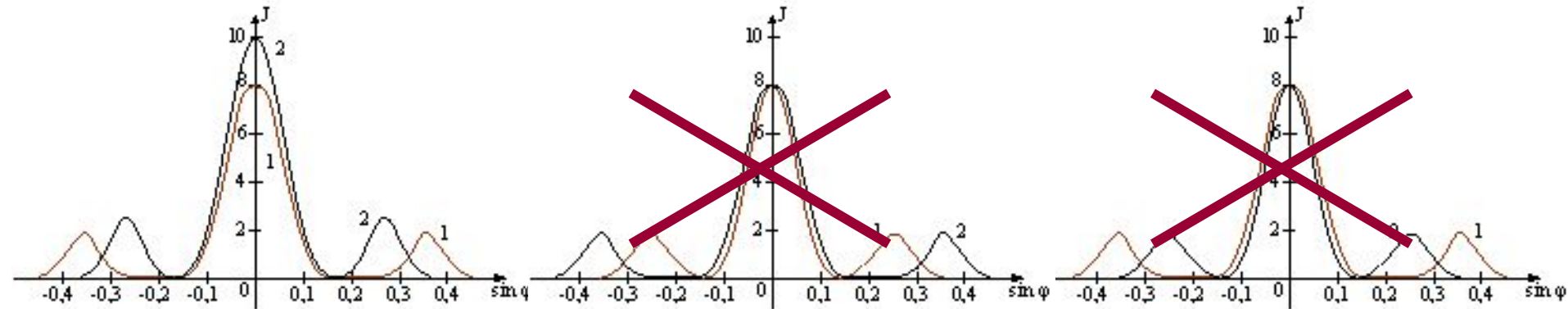
max: $d \sin \varphi = \pm m \lambda$

$m = \text{const}$ $d = \text{const}$

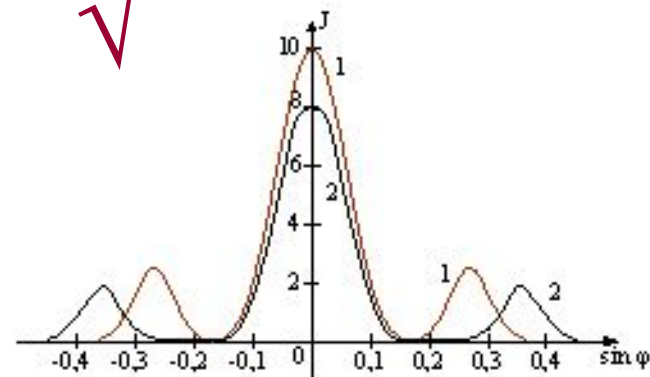
чем больше λ , тем больше $\sin \varphi$



На дифракционную решетку падает излучение с длинами волн λ_1 и λ_2 . Укажите рисунок, иллюстрирующий положение главных максимумов, создаваемых дифракционной решеткой, если $\lambda_1 < \lambda_2$, $J_1 > J_2$? (J – интенсивность, φ – угол дифракции).



✓



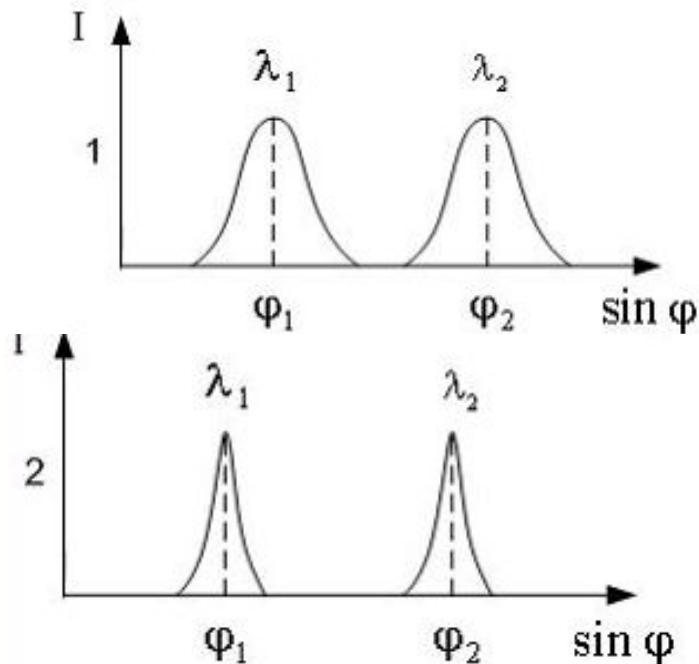
max: $d \sin \varphi = \pm m \lambda$

$m = \text{const}$ $d = \text{const}$

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 ...

- $N_2 > N_1 ; d_1 = d_2$
- $N_1 = N_2 ; d_1 > d_2$
- $N_1 > N_2 ; d_1 = d_2$



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

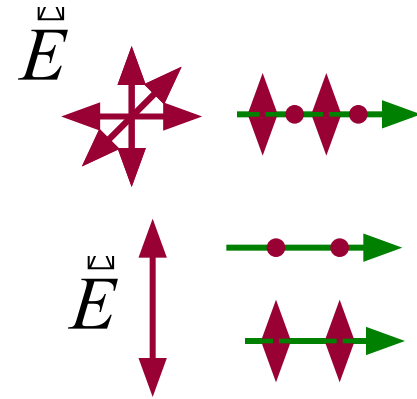
$$N_2 > N_1$$

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

Положения максимумов не поменялись $\rightarrow d_2 = d_1$

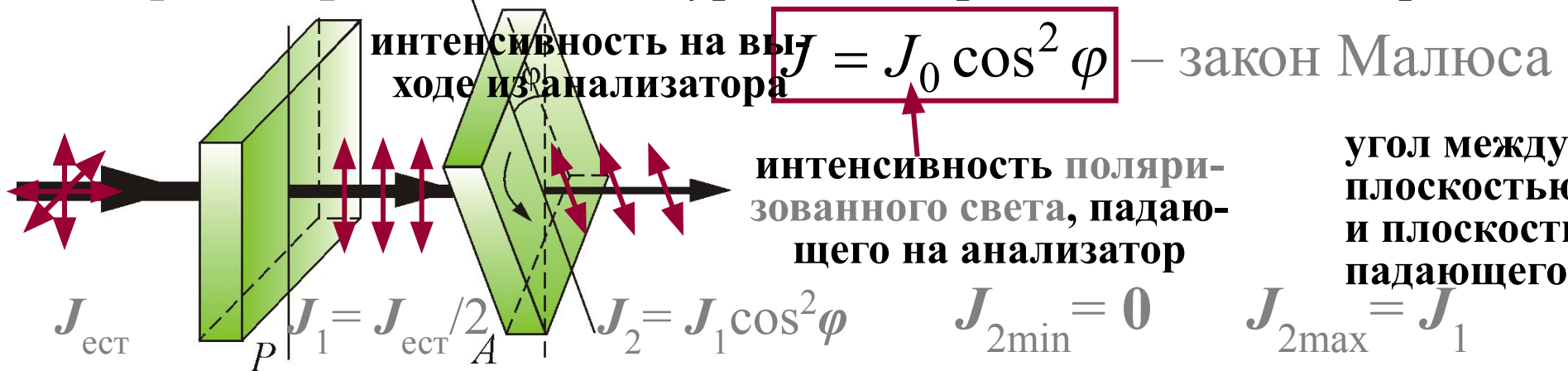
4. Поляризация

Естественный – свет со всевозможными равновероятными ориентациями вектора E



Плоскополяризованный – свет, в котором вектор E колеблется только в одном направлении (*в плоскости поляризации*)

Поляризаторы: пластинка турмалина, призма Николя, поляроид.



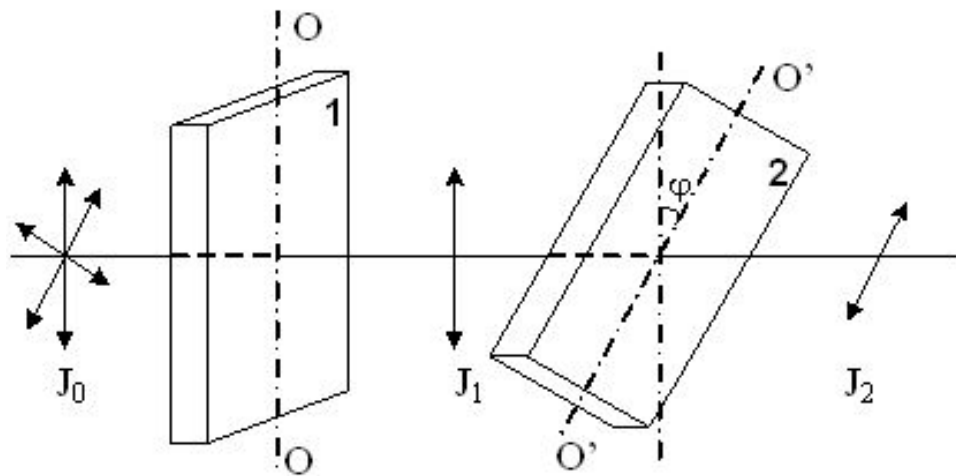
$$P = \frac{J_{\text{max}} - J_{\text{min}}}{J_{\text{max}} + J_{\text{min}}} \quad \text{– степень поляризации}$$

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

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

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

На пути естественного света помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки **1** свет полностью поляризован. Если J_1 и J_2 – интенсивности света, прошедшего пластинки **1** и **2** соответственно, и $J_2 = J_1/4$, тогда угол между направлениями OO и $O'O'$ равен...



Закон Малюса

$$J_1 = J_0 \cos^2 \varphi$$

$$J_2 = J_1 \cos^2 \varphi$$

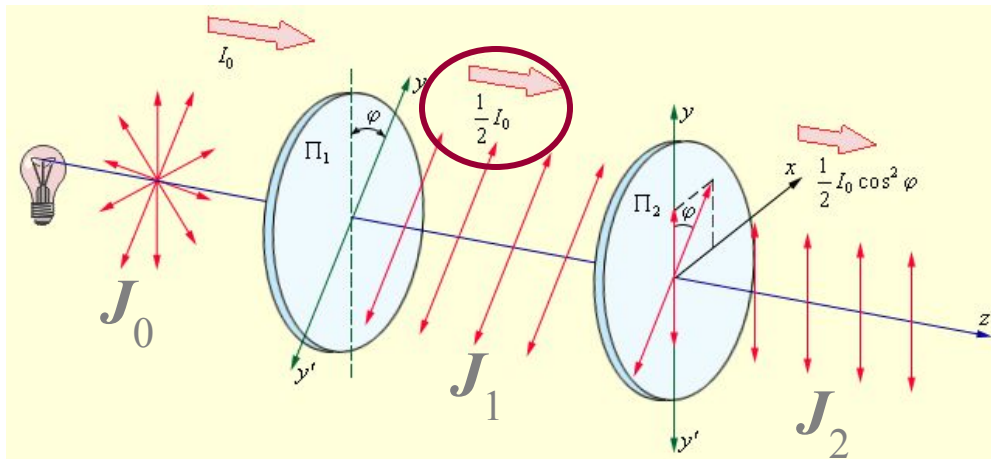
$$\frac{J_2}{J_1} = \cos^2 \varphi = \frac{1}{4}$$

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

$$\varphi = 60^\circ$$

Задание N 19

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 ...



Варианты ответов

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

Задание N 20

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

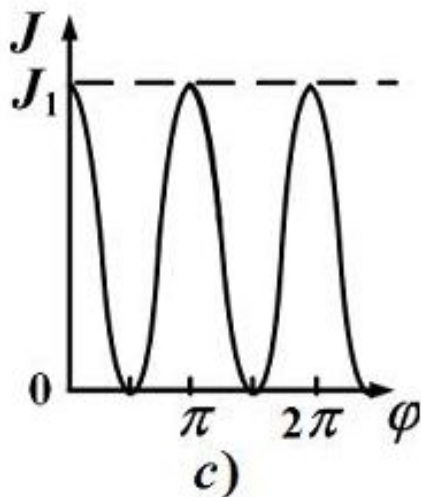
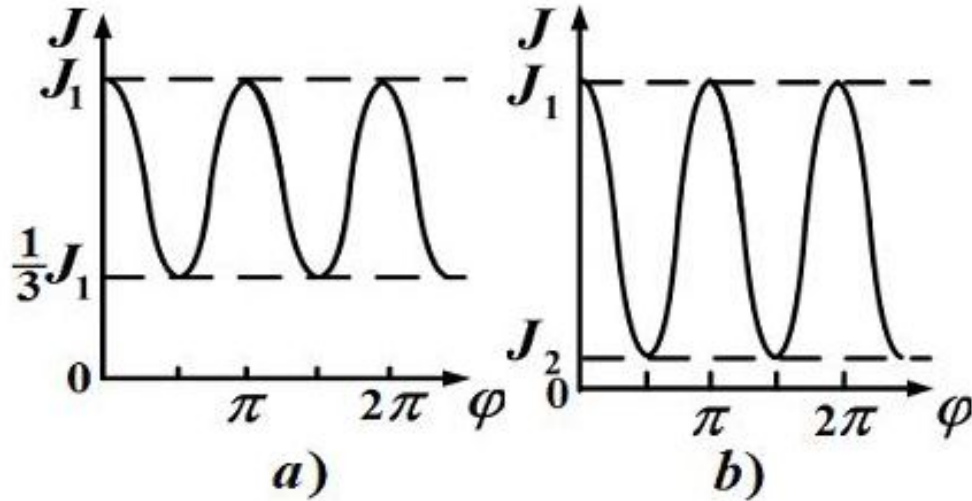
$$J_1 = \frac{J_0}{2} \quad J_2 = J_1 \cos^2 \varphi \quad J_2 = \frac{J_0}{2} \cos^2 \varphi$$

$$\frac{J_2}{J_0} = \frac{\cos^2 \varphi}{2} = \frac{(\sqrt{2}/2)^2}{2} = \frac{1}{4}$$

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.



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

$$P = \frac{J_{\max} - J_{\min}}{J_{\max} + J_{\min}}$$

Естественный свет: $J_{\max} = J_{\min}$ $P = 0$

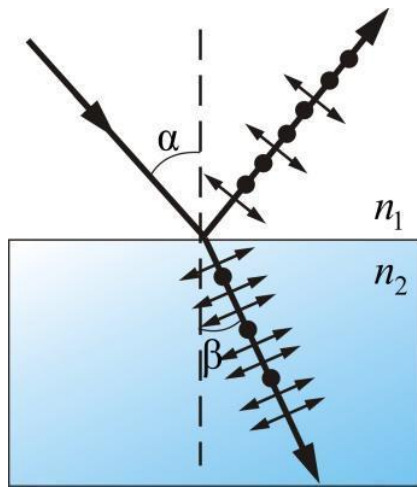
Поляризованный свет: $J_{\min} = 0$ $P = 1$

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

$$P_c > P_b > P_a$$

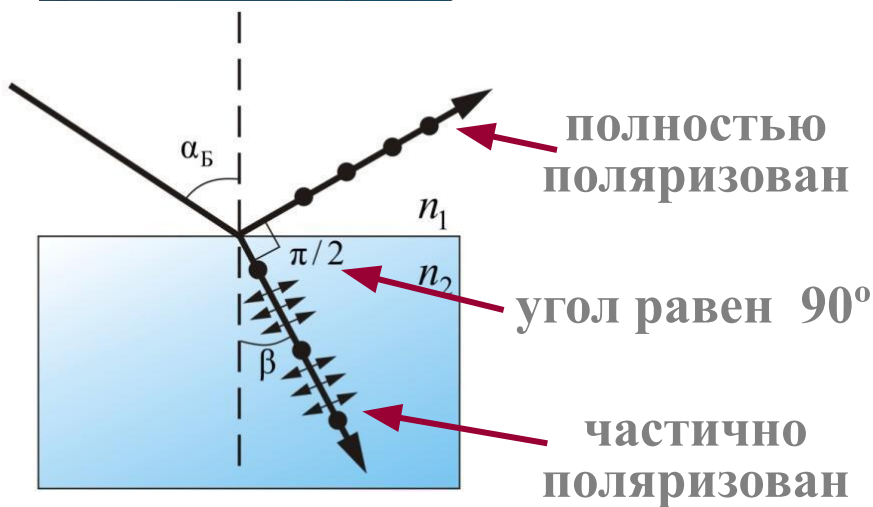
На основании графиков укажите верное соотношение степеней поляризации падающих на поляризатор трех световых волн.

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*).



полностью поляризован

угол равен 90°

частично поляризован

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

– закон Брюстера

При многократном преломлении степень поляризации увеличивается.

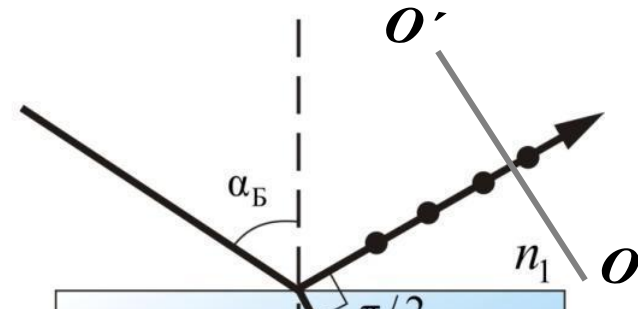
Задание N 2

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

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...



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

Задание N 18

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

угол между преломленным и
отраженным лучами 90°

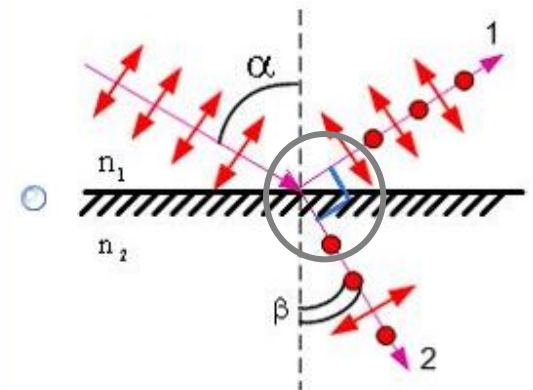
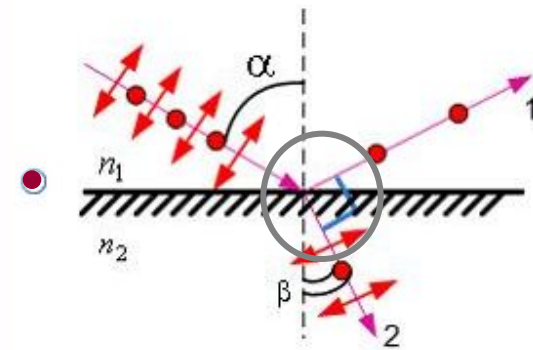
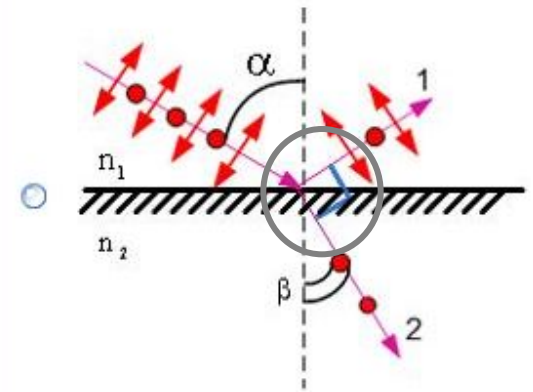


свет падает под углом Брюстера



- **отраженный** луч полностью поляризован
- колебания в отраженном луче *перпендикулярны* плоскости падения

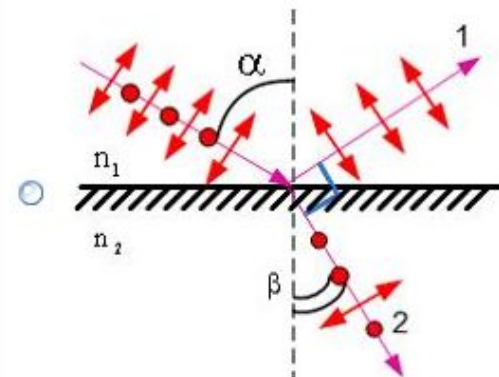
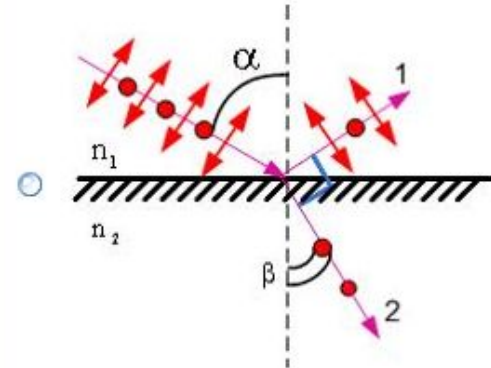
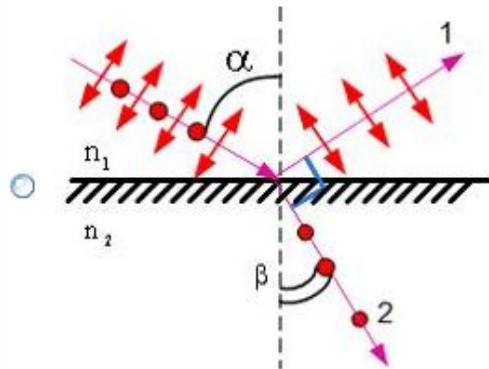
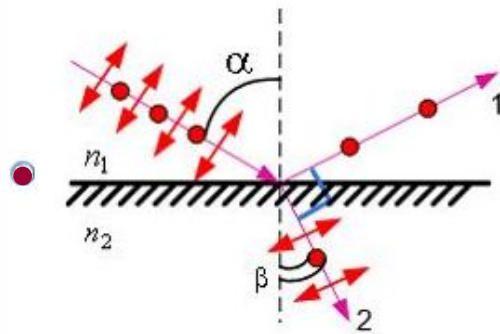
Варианты ответов



Задание N 9

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

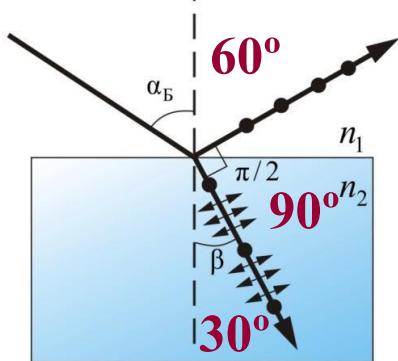
Варианты ответов



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...



$$\alpha = \alpha_{Br} \Rightarrow \beta = 180^\circ - 60^\circ - 90^\circ$$

$$\beta = 30^\circ$$

- 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...

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

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

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

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

5. Дисперсия

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

$$n = f(\nu)$$

или

$$n = f(\lambda)$$

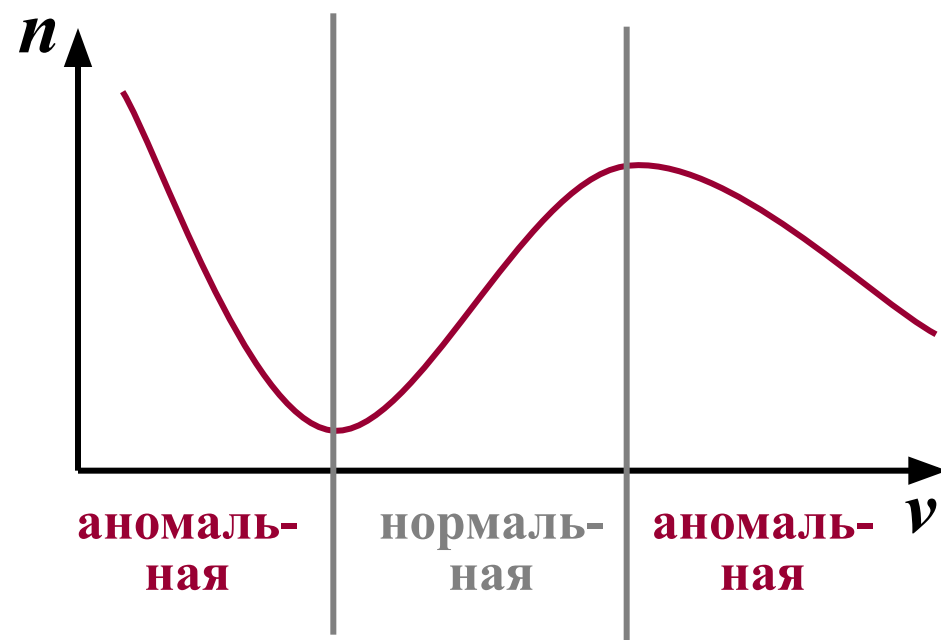
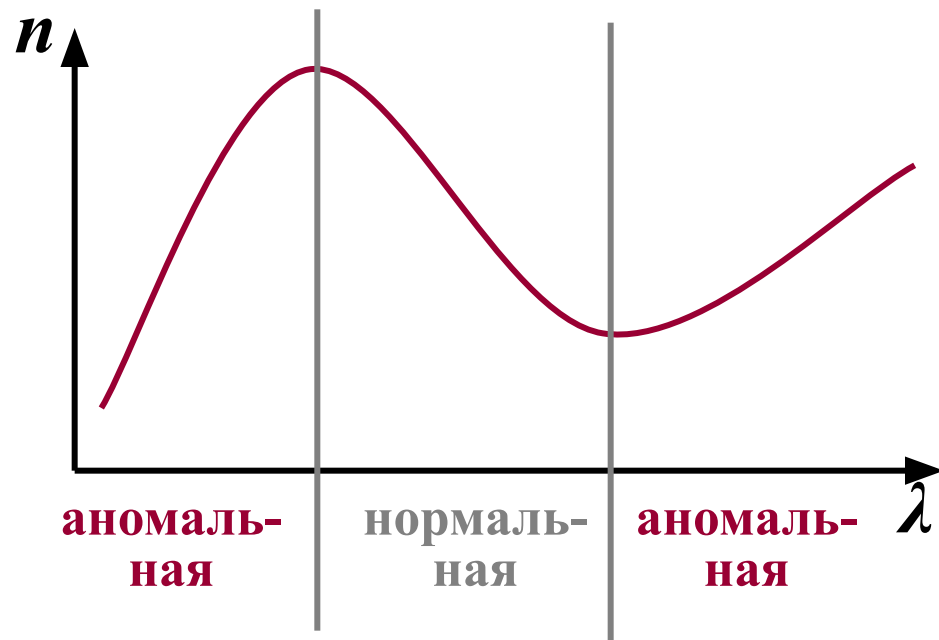
$$\lambda = \frac{V}{\nu}$$

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

— нормальная дисперсия

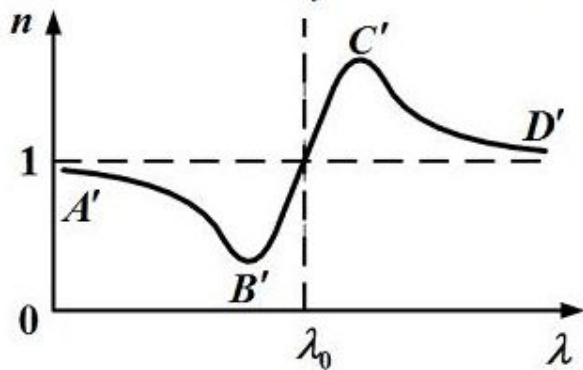
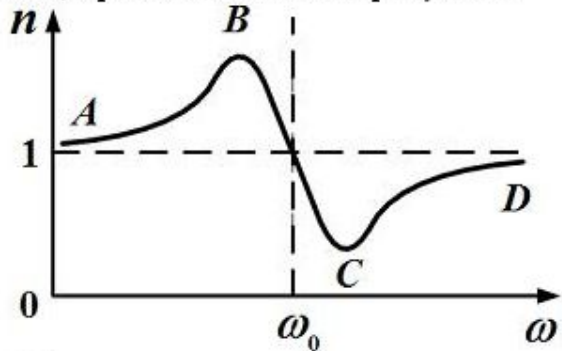
$$\frac{dn}{d\lambda} > 0; \frac{dn}{d\nu} < 0$$

— аномальная дисперсия



Задание N 2.

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

Варианты ответа:

- 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.

$R_T = \frac{dW}{dSdt}$ – энергетическая светимость $R = \sigma T^4$ – закон Стефана-Больцмана

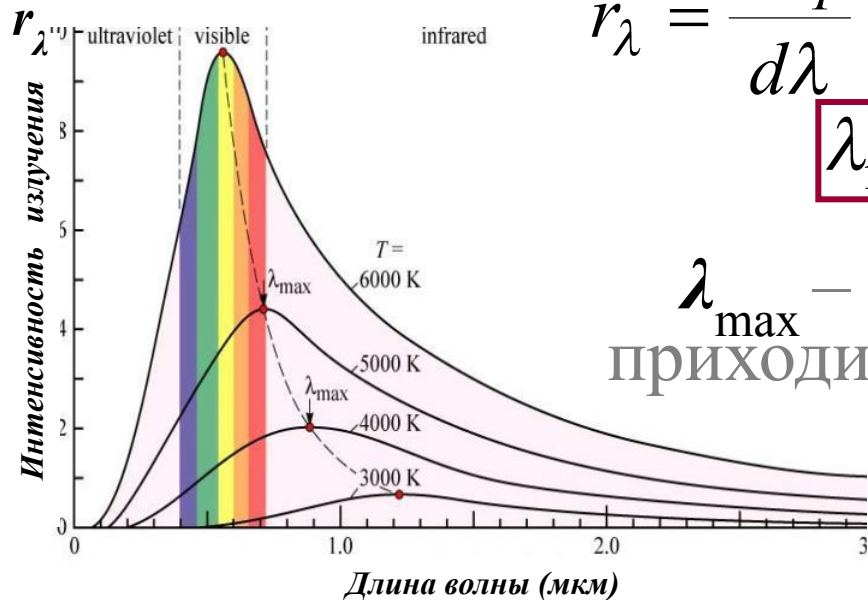
На графике $r_\lambda(\lambda)$ R_T – площадь под кривой при $\uparrow T$ площадь \uparrow

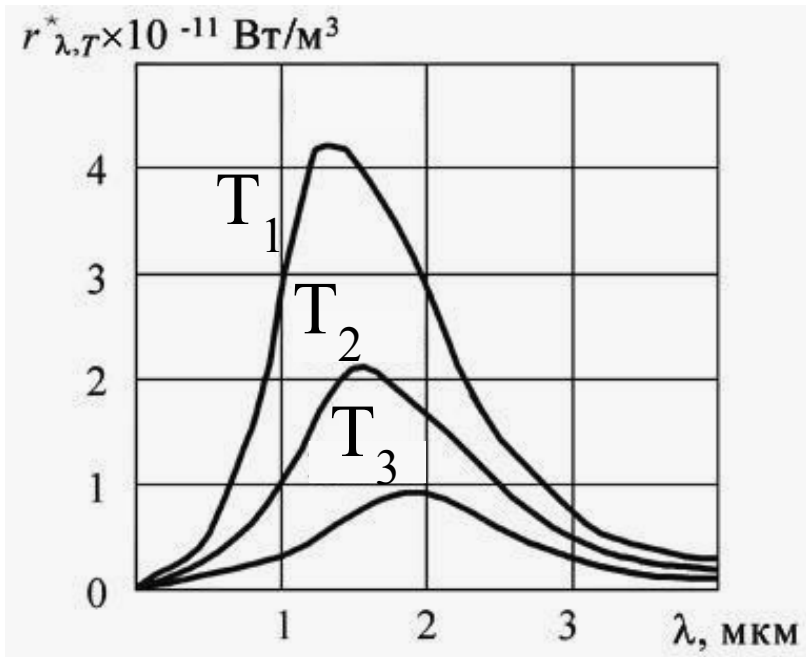
$r_\lambda = \frac{dR_T}{d\lambda}$ – спектральная плотность энергетической светимости

$\lambda_{\max} = b/T$ – закон Вина

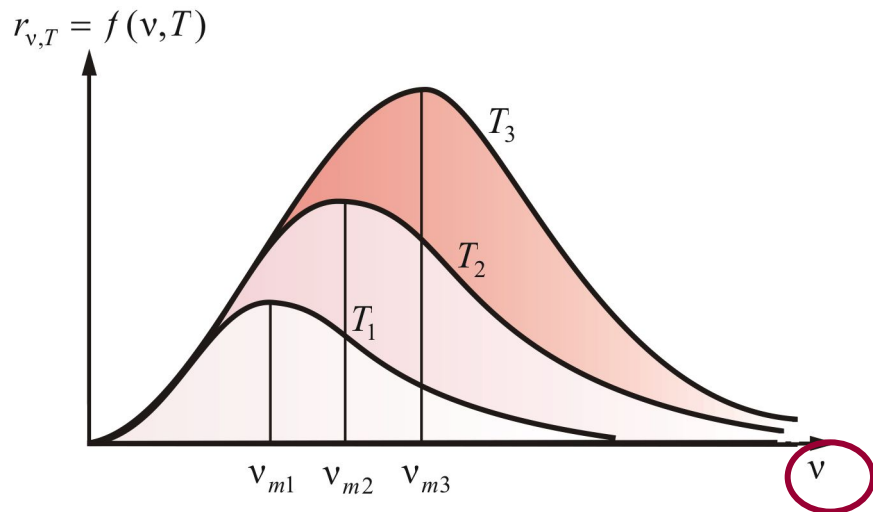
λ_{\max} – длина волны, на которую приходится максимум функции $r_\lambda(\lambda)$

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



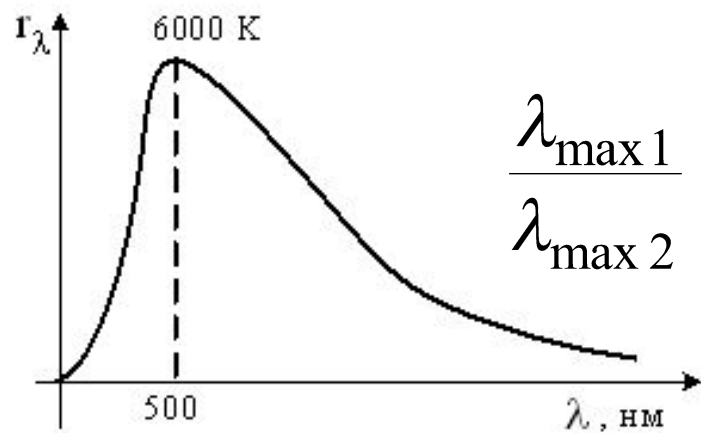


$$T_1 > T_2 > T_3$$



$$T_1 < T_2 < T_3$$

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, ...



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

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

$$\lambda_{\max 2} = 4\lambda_{\max 1}$$

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...

$$R = \sigma T^4$$

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

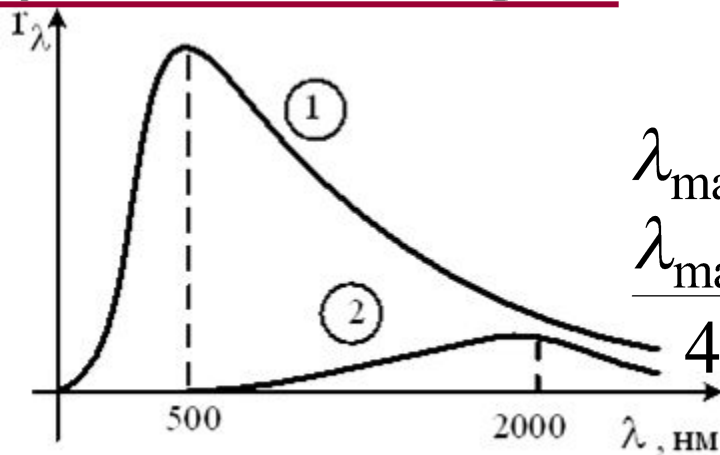
$$R_2 = R_1/16$$

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)...

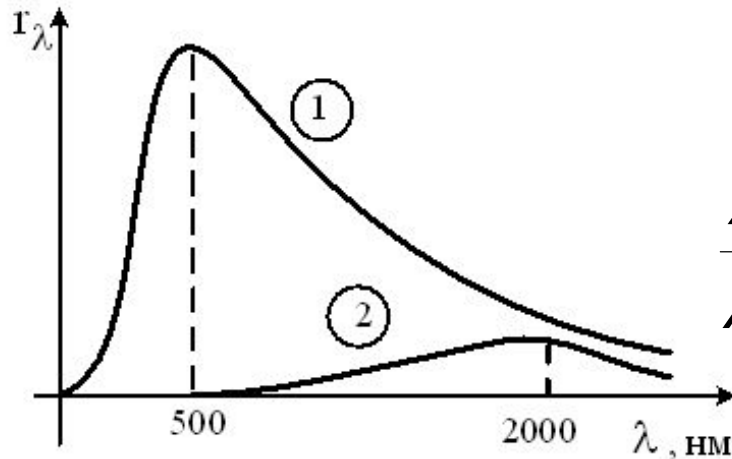
$$\frac{\lambda_{\max 1}}{\lambda_{\max 2}} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{500}{2000} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{1}{4} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow T_1 = 4 \cdot T_2$$

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) ...



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

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

Варианты ответов

- 725
- 5800
- 1933
- 2900

$$T_1 = 4 \cdot T_2$$

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

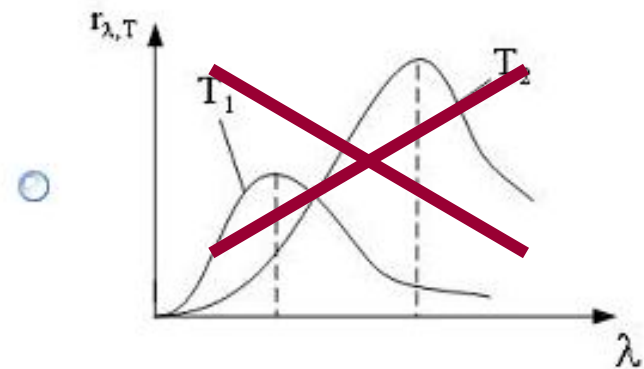
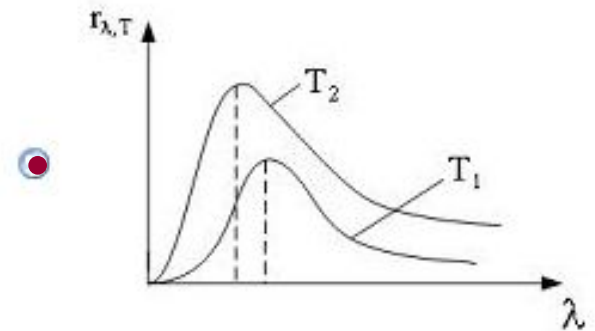
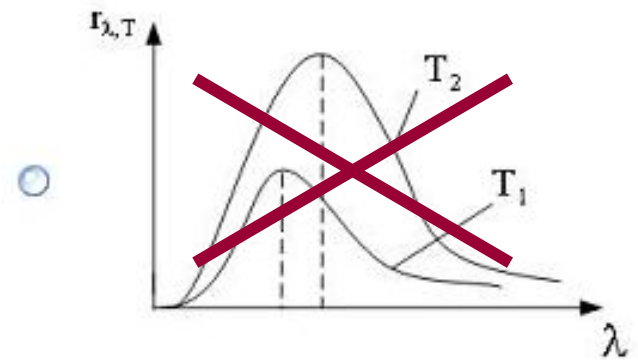
На рисунках по оси абсцисс отложена длина волны теплового излучения тела, по оси ординат – излучательная способность. Кривые соответствуют двум температура, причем $T_1 < T_2$. На качественном уровне правильно отражает законы излучения АЧТ рисунок ...

при $\uparrow T$ площадь \uparrow

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

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

Варианты ответов



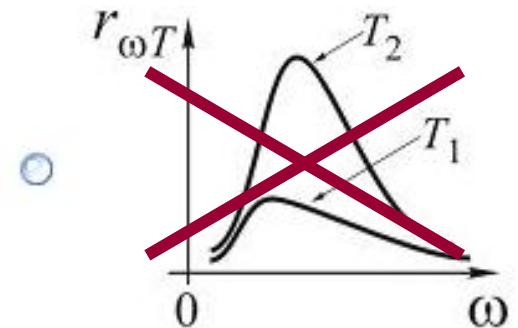
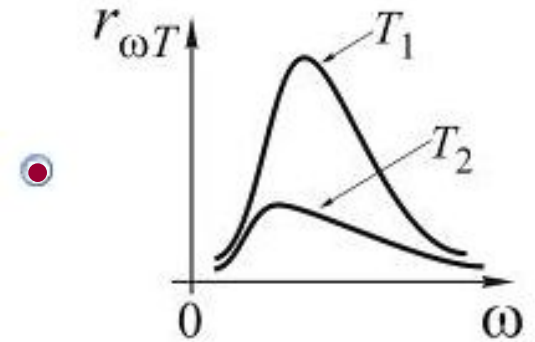
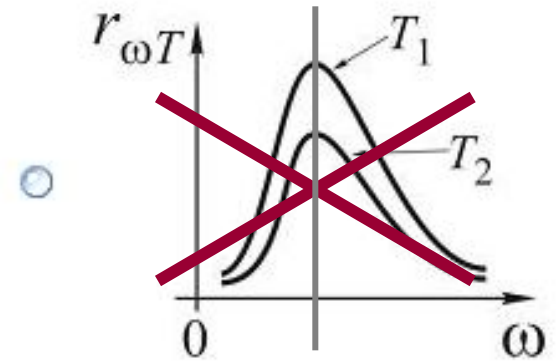
Задание N 29

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 ...

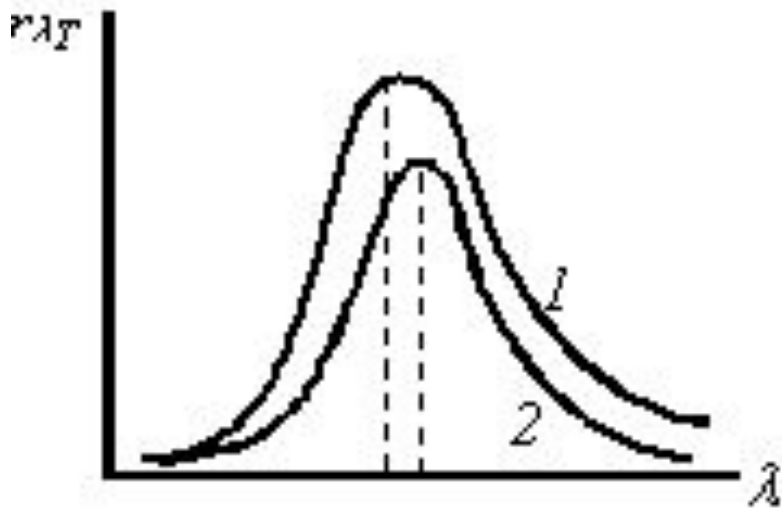
при $\uparrow T$ площадь \uparrow

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

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

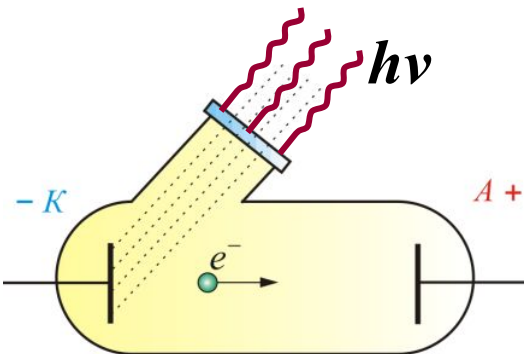
$$R_T \sim T^4 \quad \rightarrow \quad T_1 > T_2$$

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

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

2. Фотоэффект

Внешний фотоэффект – испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения.



энергия фотона

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

– уравнение Эйнштейна

кинетическая энергия электрона

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

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

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

$$\nu < \nu_{кр}$$

$$\lambda > \lambda_{кр} = \frac{c}{\nu_{кр}}$$

фотоэффекта нет

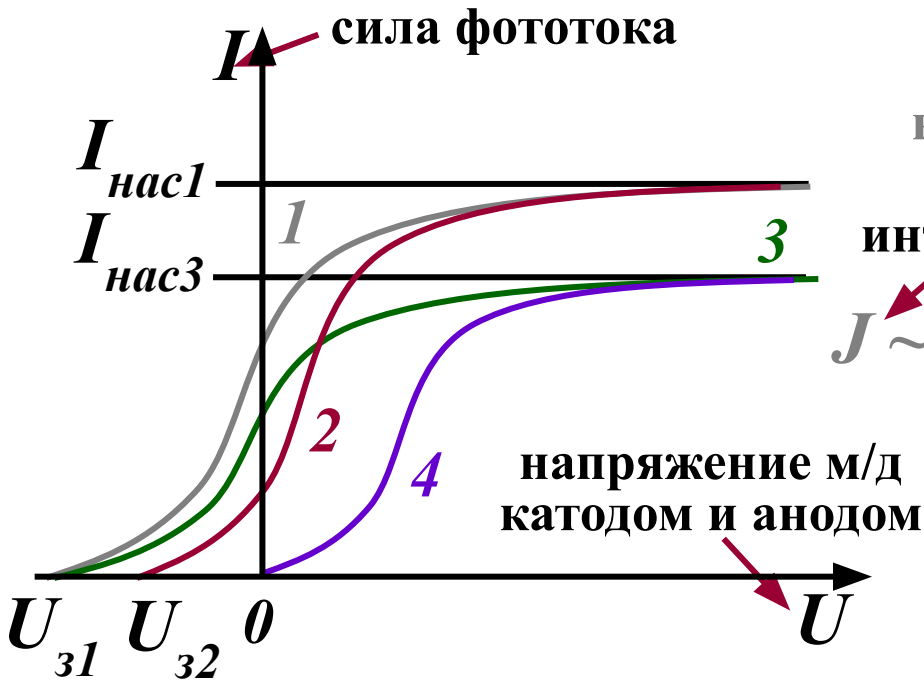
энергии фотона недостаточно для выбивания электрона

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

Для данного материала **кинетическая энергия электрона зависит только от энергии падающего фотона** (не зависит от их количества, т.е. интенсивности света)

Вольтамперная характеристика

$$h\nu = E_k + A$$



все выбитые электроны достигли анода

$$\rightarrow I = I_{нас}$$

интенсивность света

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

напряжение м/д катодом и анодом

заряд электрона $J_1 = J_2 > J_3 = J_4$

задерживающие напряжение

$$E_k = eU_3 \rightarrow \text{все выбитые электроны вернулись обратно}$$

$$h\nu = eU_3 + A$$

фотокатод не меняется

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

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

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

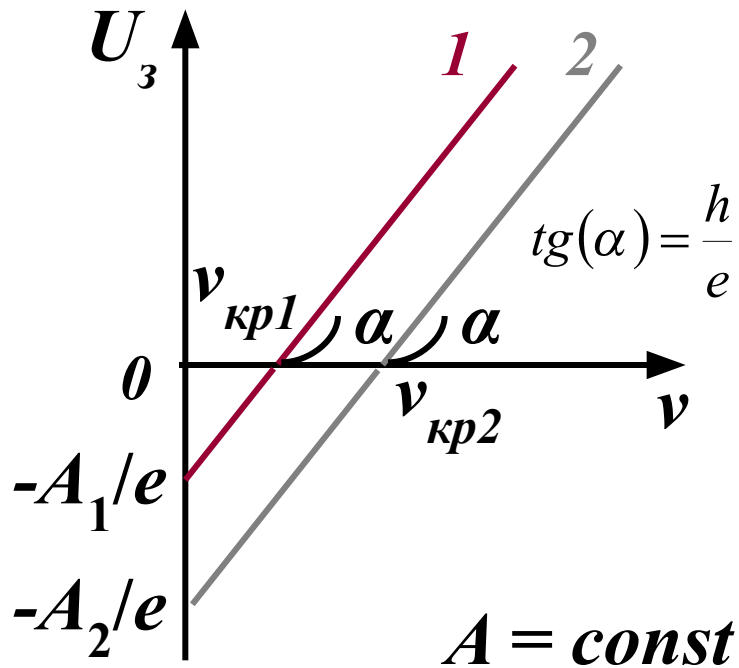
свет не меняется

$$\rightarrow \nu = const$$

$$A \downarrow$$

$$U_3 \uparrow$$

$$\rightarrow A_1 = A_3 < A_2 < A_4$$



$$h\nu = eU_3 + A$$

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

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

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

$A = const$

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

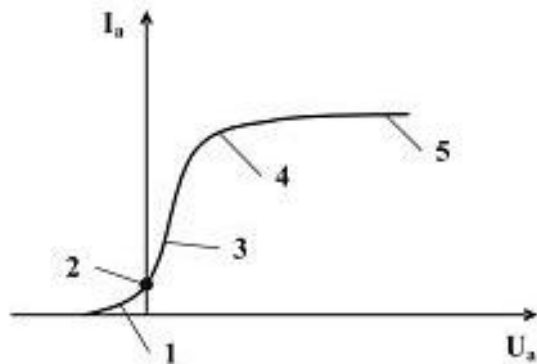
$$h(\nu_2 - \nu_1) = e(U_{32} - U_{31})$$

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

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

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

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



4

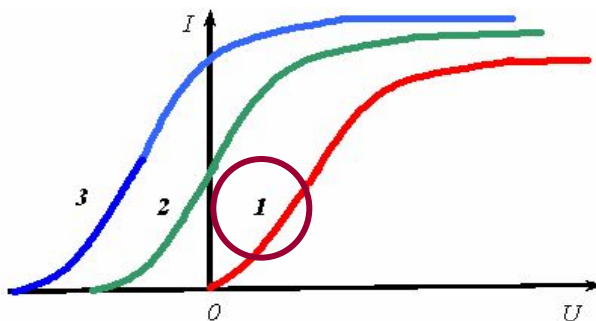
2

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?

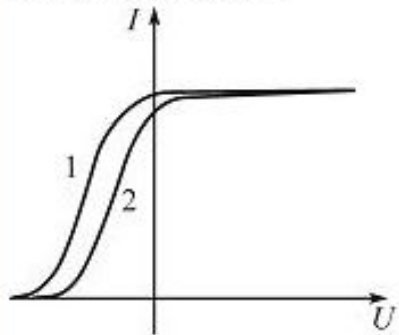


$$U_{3I} = 0 \Rightarrow \nu_I = \nu_{кр}$$

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...



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

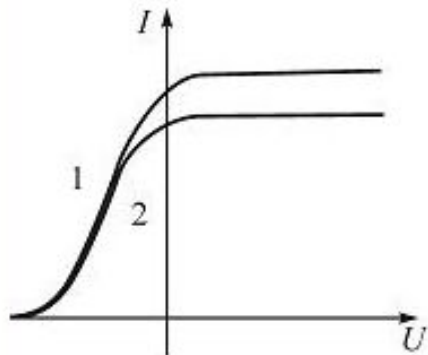
$$U_{31} > U_{32} \Rightarrow \nu_1 > \nu_2$$

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

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...

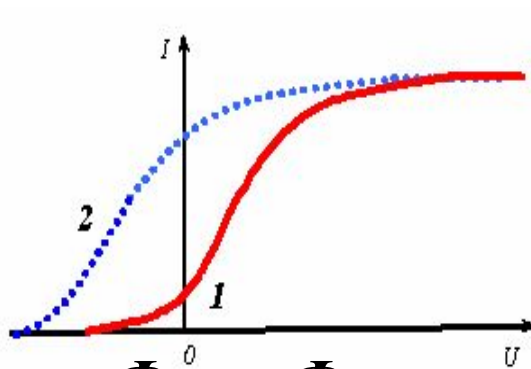


$$I_{нас1} > I_{нас2} \Rightarrow J_1 > J_2$$

$$U_{31} = U_{32} \Rightarrow \nu_1 = \nu_2$$

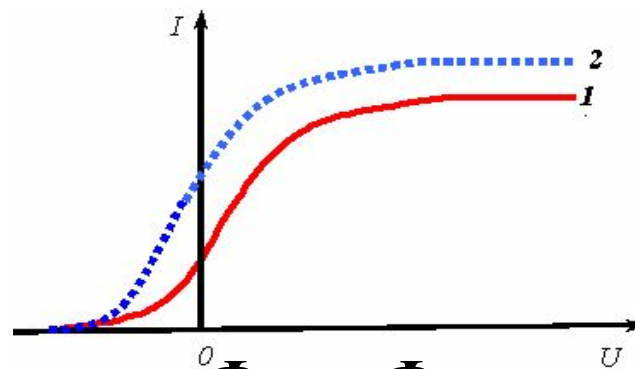
- $\nu_1 = \nu_2, E_1 < E_2$
- $\nu_1 > \nu_2, E_1 = E_2$
- $\nu_1 = \nu_2, E_1 > E_2$
- $\nu_1 < \nu_2, E_1 = E_2$

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).



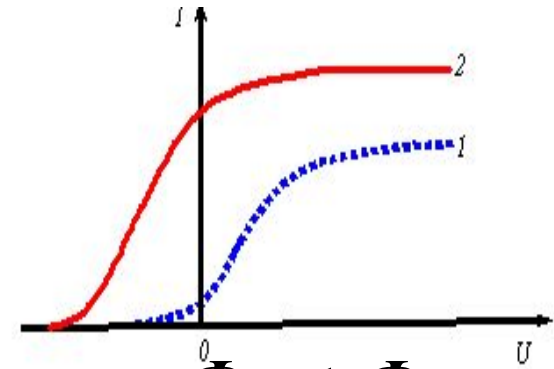
$$\Phi_1 = \Phi_2$$

$$A_1 > A_2$$



$$\Phi_1 < \Phi_2$$

$$A_1 = A_2$$



$$\Phi_1 < \Phi_2$$

$$A_1 > A_2$$

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

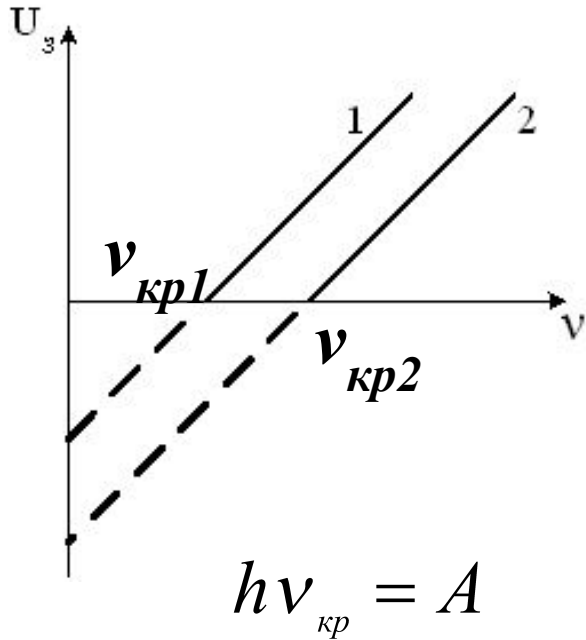
$$\nu = \text{const}$$

$$eU_3 = h\nu - A$$

$$A \uparrow$$

$$U_3 \downarrow$$

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

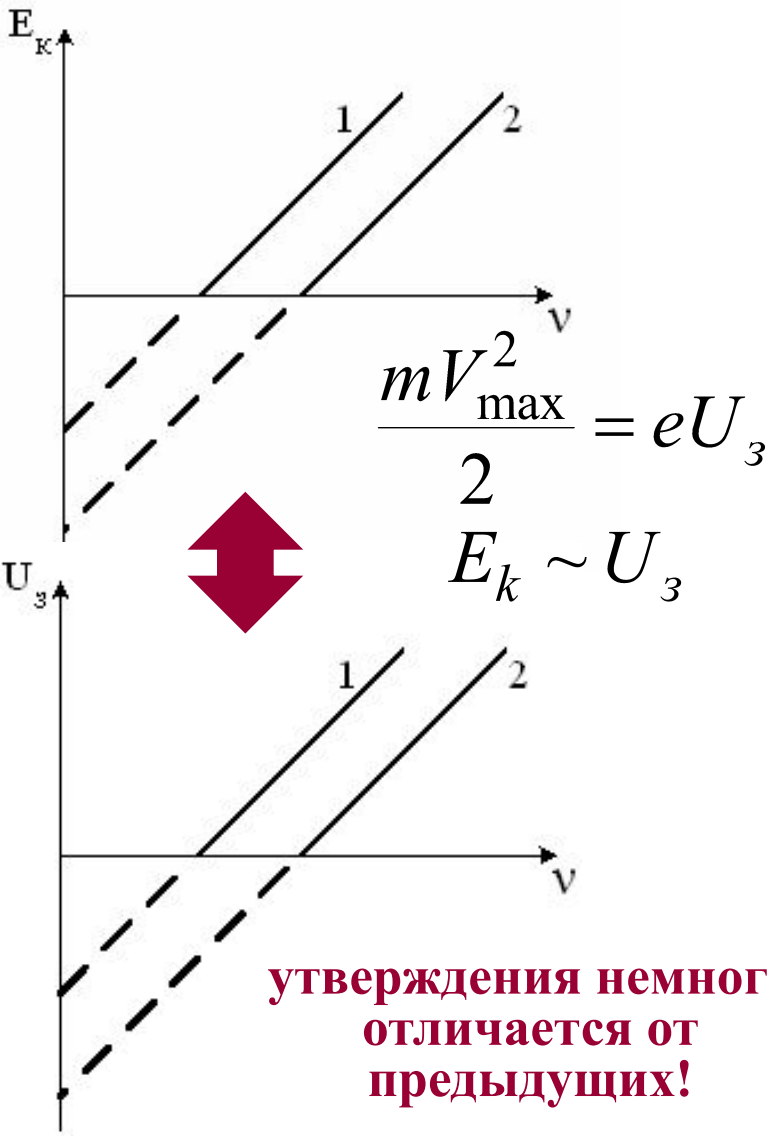
✓ Зависимости получены для двух различных металлов

✓ $\lambda_{01} > \lambda_{02}$, 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

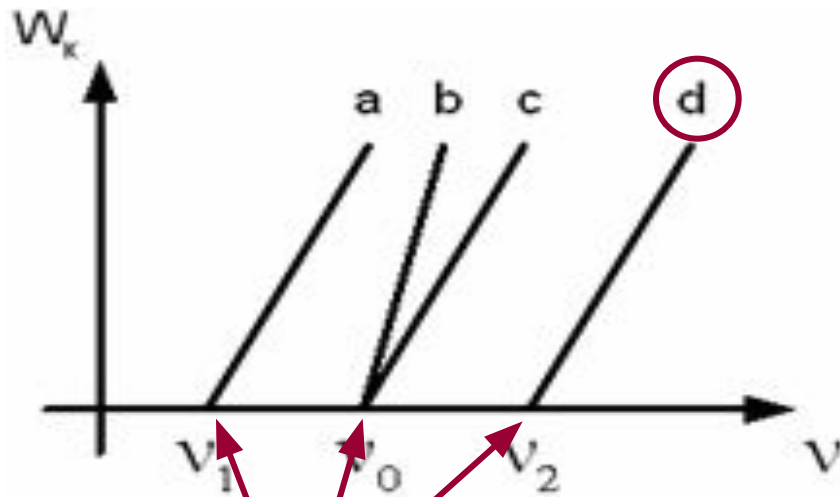
$\lambda_{01} < \lambda_{02}$, где λ_{01} и λ_{02} – значения красной границы фотоэффекта для соответствующего металла

Зависимости получены для двух различных освещенностей одного металла

утверждения немного отличается от предыдущих!

Угол наклона зависимостей 1 и 2 одинаков

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 .



красная граница
фотоэффекта

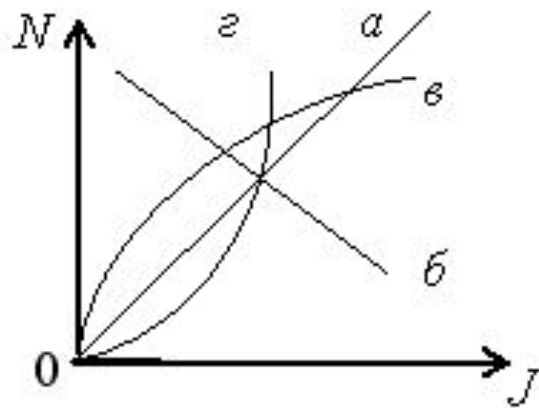
Укажите линию, которая будет соответствовать случаю, когда материал фотокатода заменен на материал с большей работой выхода.

$$A_2 > A_1 \quad \rightarrow \quad \nu_{кр2} > \nu_{кр1}$$

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

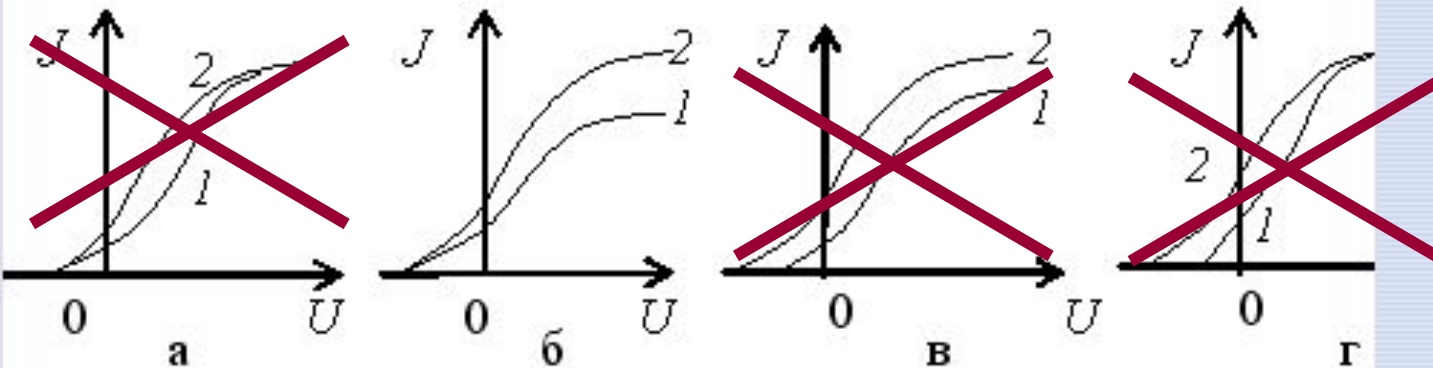
 в

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

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

Задание N 29

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

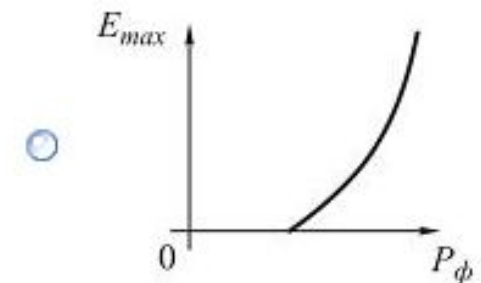
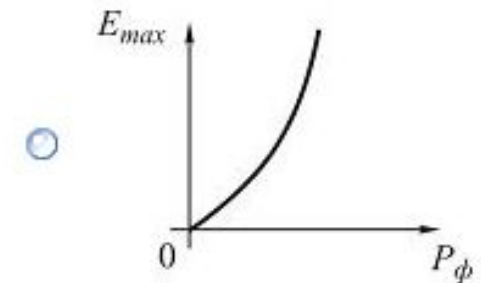
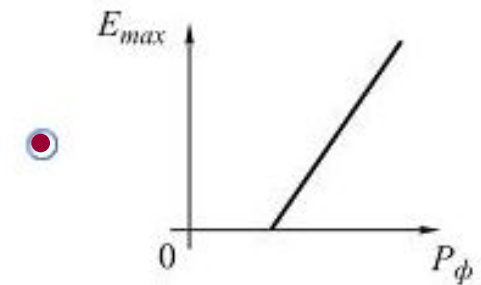
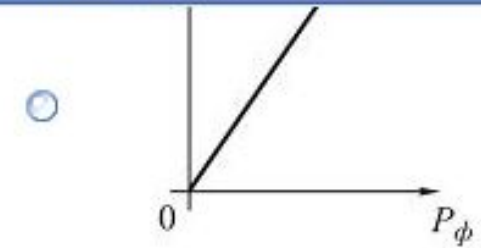
$$h\nu = \frac{mV_{max}^2}{2} + A$$

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

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

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

Варианты ответов



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...

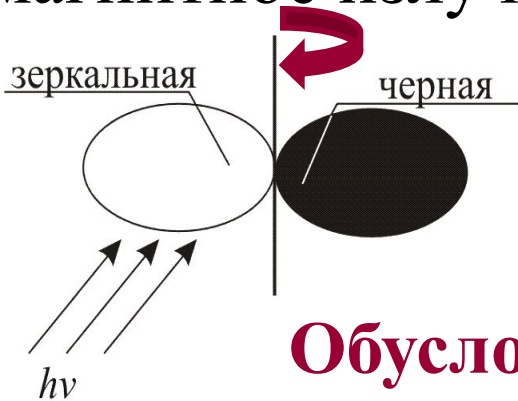
$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{h}{\lambda_1} \frac{\lambda_2}{h} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{375}{750} = \frac{1}{2}$$

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

$$p = \frac{h}{\lambda} \rightarrow p \uparrow \quad \lambda \downarrow$$

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 ...

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

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

$$K_1 = 1 \quad K_2 = 0 \xrightarrow{\quad} P_2 = P_1 / 4$$

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 ...

$$J_2 = J_1 \quad K_1 = 1 \quad K_2 = 0 \xrightarrow{\quad}$$

$$\xrightarrow{\quad} P_2 = P_1 / 2$$

Варианты ответов

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

Задание N 31

Варианты ответов

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

- увеличится в 4 раза
- останется неизменным
- увеличится в 2 раза

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°

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

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...

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

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

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

$$P_1 = \frac{J}{c}2\cos^2 \alpha_1 \quad P_2 = \frac{J}{c}\cos^2 \alpha_2 \quad \rightarrow \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{\cos^2 \alpha_2}{2\cos^2 \alpha_1} = \frac{1}{2(0.5)^2} = 2$$

Варианты ответов:

•P

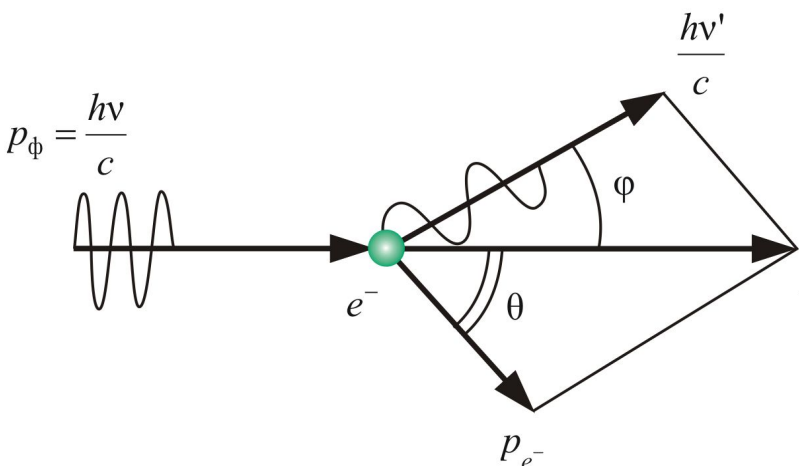
•2P

•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

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

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_e \sin \frac{\varphi}{2} \quad \text{– изменение длины волны падающего фотона}$$

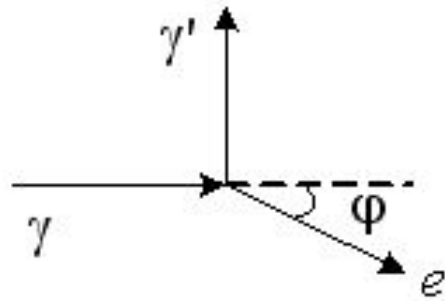
$$\lambda_e = 2,426 \text{ пм}$$

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

Задание N 12

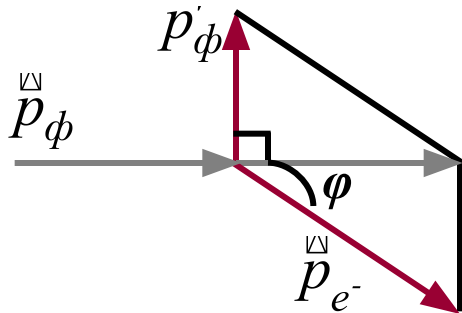
Варианты ответов

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 падающего фотона P_ϕ , то импульс электрона отдачи равен...



ЗСИ

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

$$p_{e^-} - ?$$


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

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

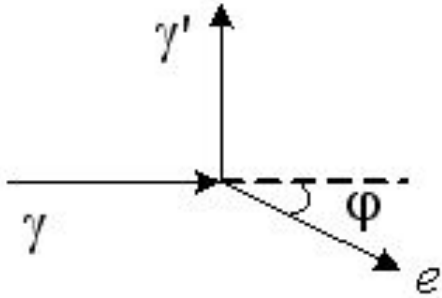
$\frac{2}{\sqrt{3}} P_\phi$

$1,5 P_\phi$

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

$\sqrt{3} P_\phi$

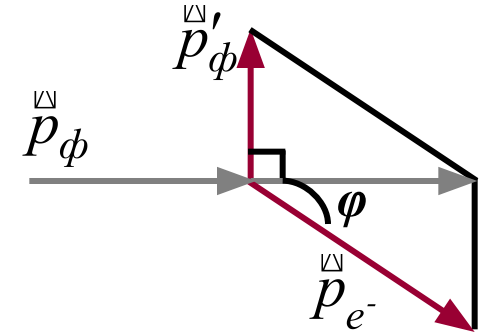
На рисунке показаны направления падающего фотона (γ), рассеянного фотона (γ') и электрона отдачи (e). Угол рассеяния 90° , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол $\varphi=30^\circ$. Если импульс падающего фотона P_ϕ , то импульс рассеянного фотона равен...



ЗСИ

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

$$p'_\phi - ?$$

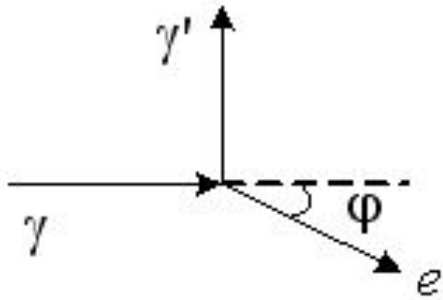


$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{p'_\phi}{p_\phi}$$

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

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

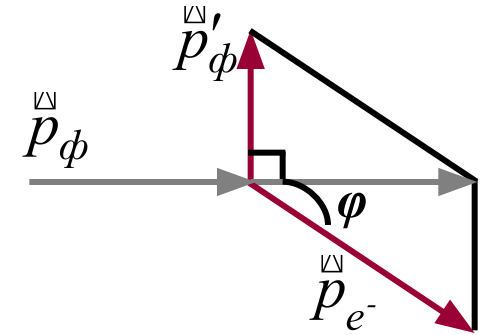
На рисунке показаны направления падающего фотона (γ), рассеянного фотона (γ') и электрона отдачи (e). Угол рассеяния 90° , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол $\varphi=30^\circ$. Если импульс электрона отдачи $3(\text{МэВ}\cdot\text{с})/\text{м}$, то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



ЗСИ

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

$$p'_\phi - ?$$



$$\varphi = 30^\circ \quad \rightarrow$$

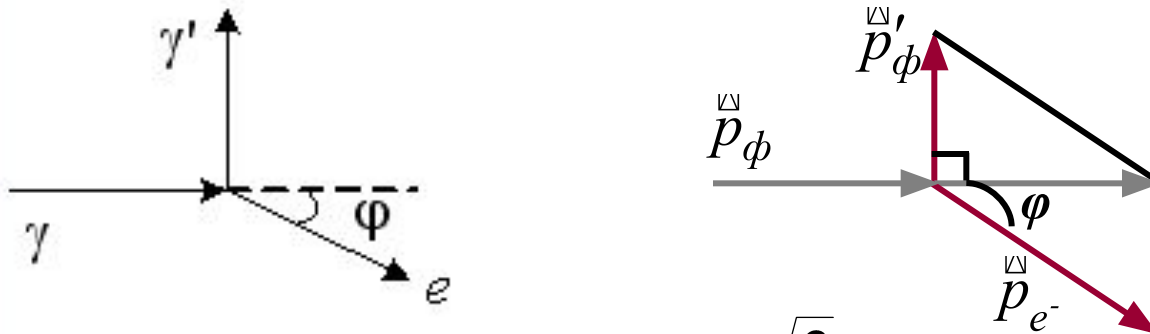
$$p'_\phi = p_{e^-} / 2 = 1,5$$

(МэВ·с)/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...



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

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