

# 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  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  и разностью хода  $\Delta$  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  $\lambda/4$  ( $\lambda$  - 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

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

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

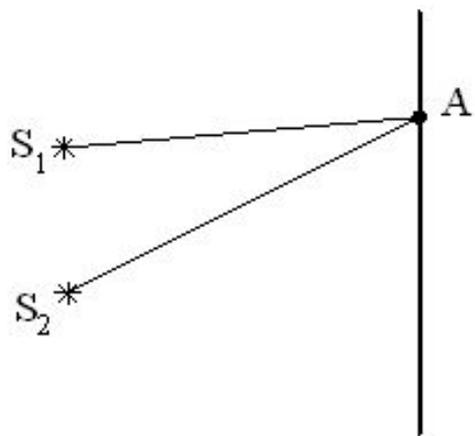
800 нм

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.



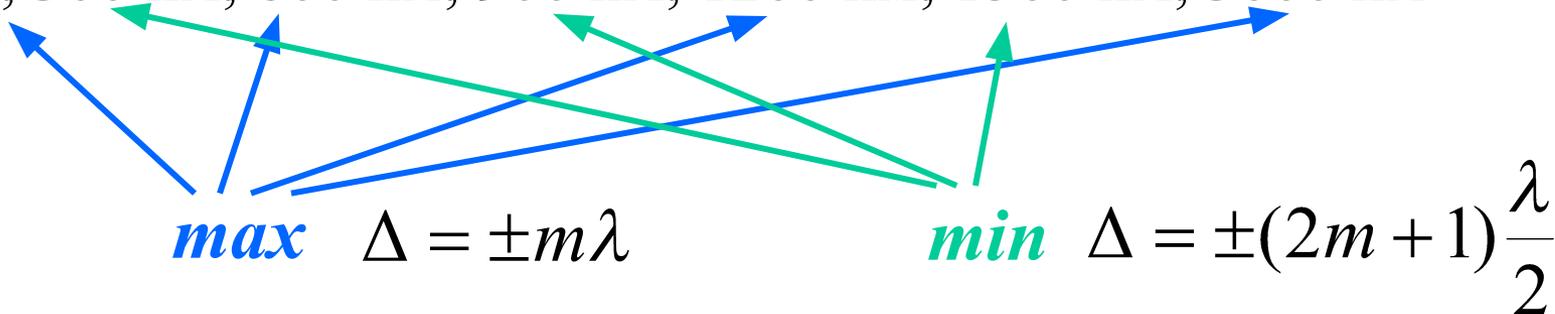
При какой минимальной разности фаз в т.  $A$  будет наблюдаться минимум интерференции?

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

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

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

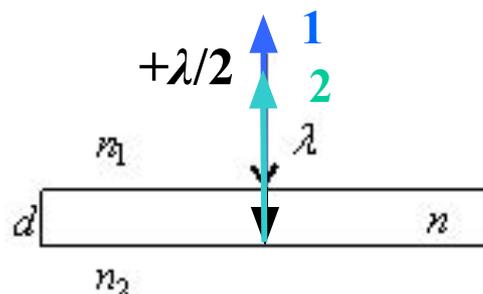
0; 300 нм; 600 нм; 900 нм; 1200 нм; 1500 нм; 3000 нм



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

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

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  $\lambda$ .



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  $\lambda/2$

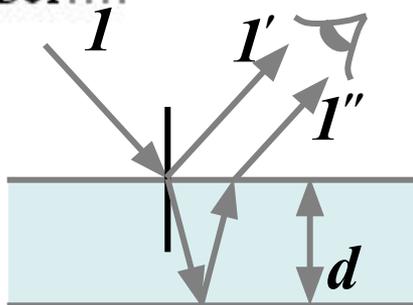
$2dn_2 + \frac{\lambda}{2}$

$2dn$

$2dn_1$

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

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....

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

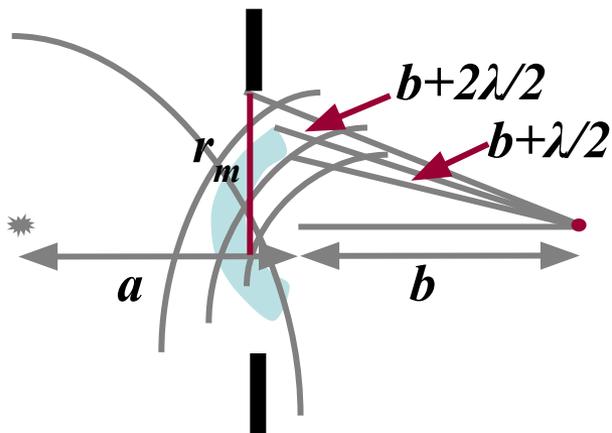
$$n \downarrow \Rightarrow \Delta \downarrow \Rightarrow \lambda \downarrow$$

## 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:

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

$$I \sim A^2$$

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

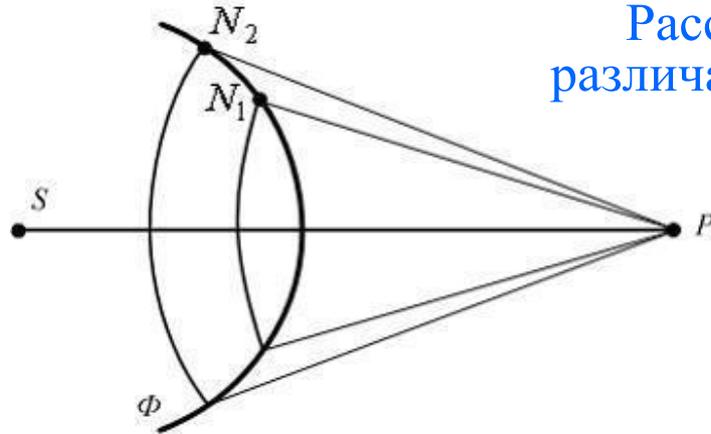
2. четное количество зон:

в центре **темное** пятно

3. нечетное количество зон:

в центре **светлое** пятно

На рисунке представлена схема разбиения волновой поверхности  $\Phi$  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

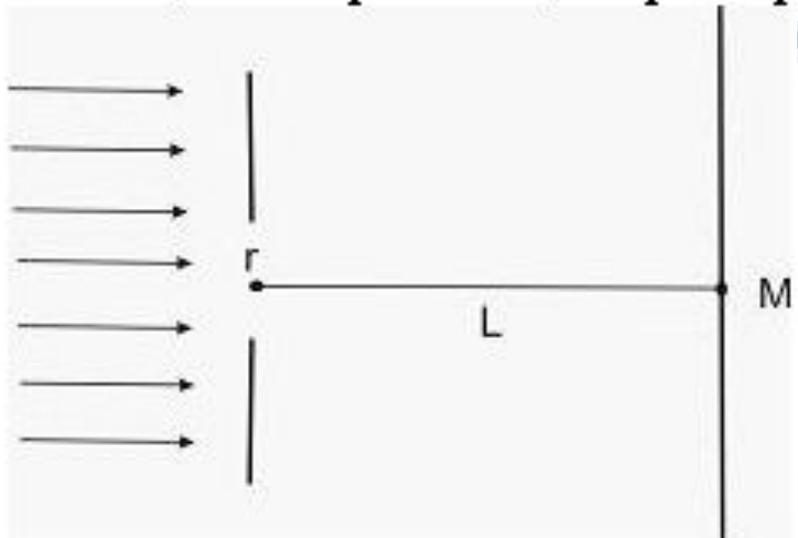
Если открыть все  $n$  зон Френеля, то интенсивность света от первой зоны Френеля...

$$A = \frac{A_1}{2} \quad I \sim A^2 \quad I = \frac{I_1}{4}$$

#### 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

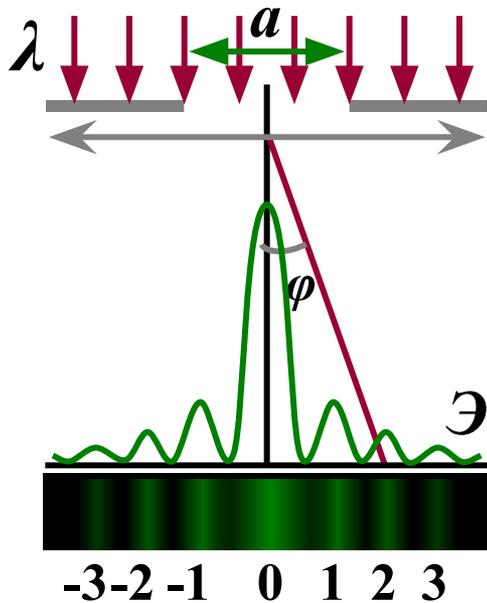
$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m \lambda}$$

$$a = \infty$$

$$\lim_{a \rightarrow \infty} r_m = \sqrt{b m \lambda}$$

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

# Дифракция Фраунгофера на щели



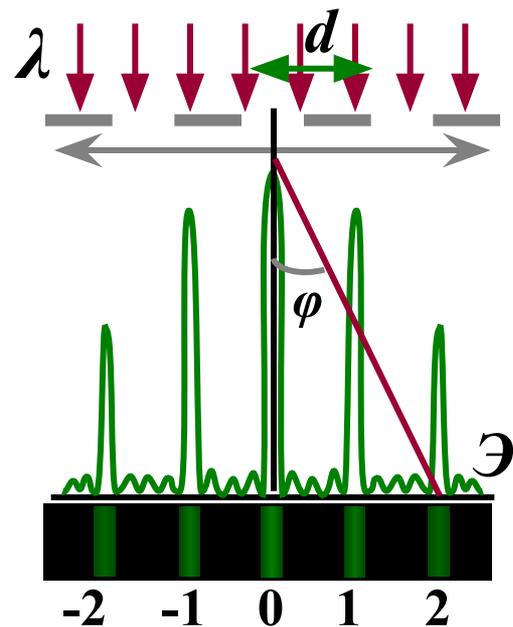
$$a \sin \varphi = \pm m \lambda \quad - \text{условие } \mathit{min}$$

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

$\varphi$  – угол наблюдения  $\mathit{max}$  или  $\mathit{min}$

$m$  – порядок минимума или максимума

# Дифракция Фраунгофера на решетке

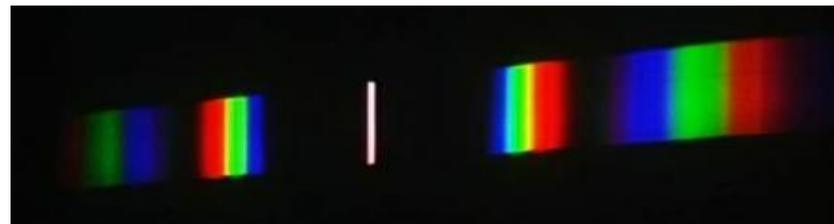


$$d \sin \varphi = \pm m \lambda \quad - \text{условие главных max}$$

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

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

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



Задание N 1

Варианты ответов

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

**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

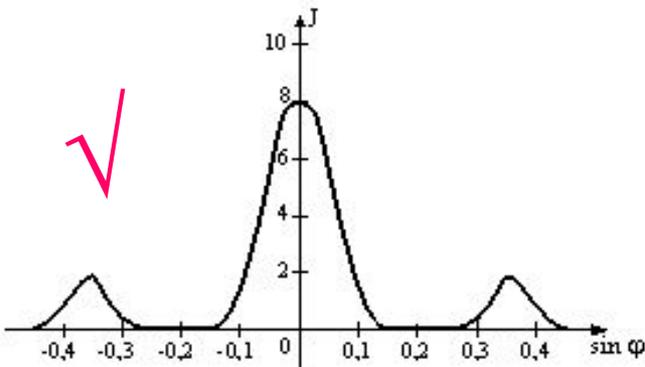
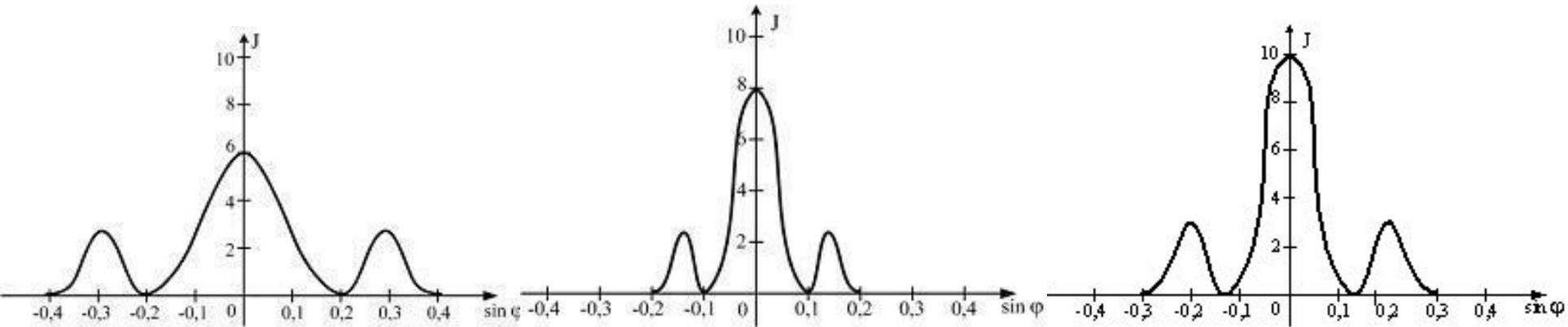
Задание N 13

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?

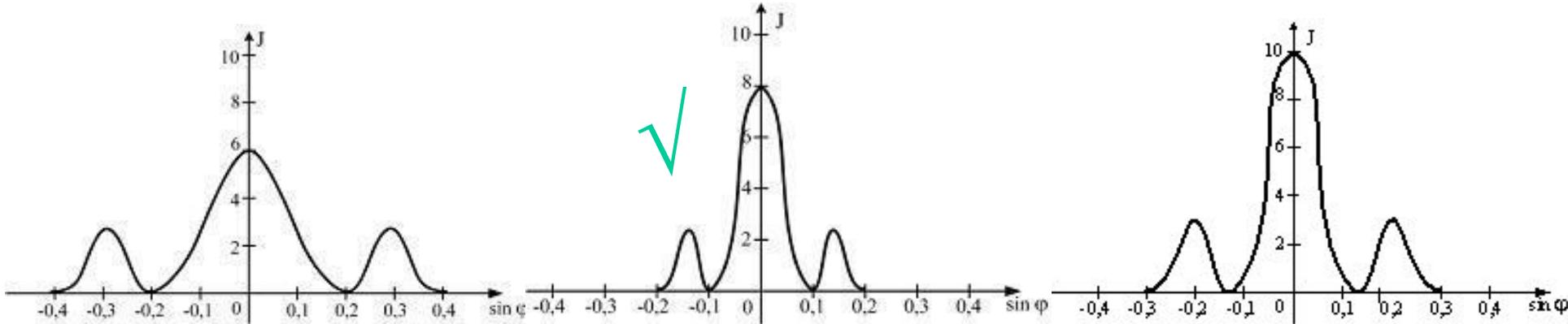


**max:**  $d \sin \varphi = \pm m \lambda$

$m = const$        $\lambda = const$

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?**

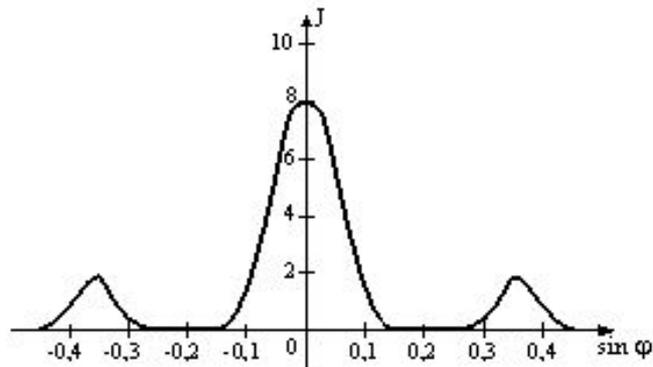


**max:**  $d \sin \varphi = \pm m \lambda$

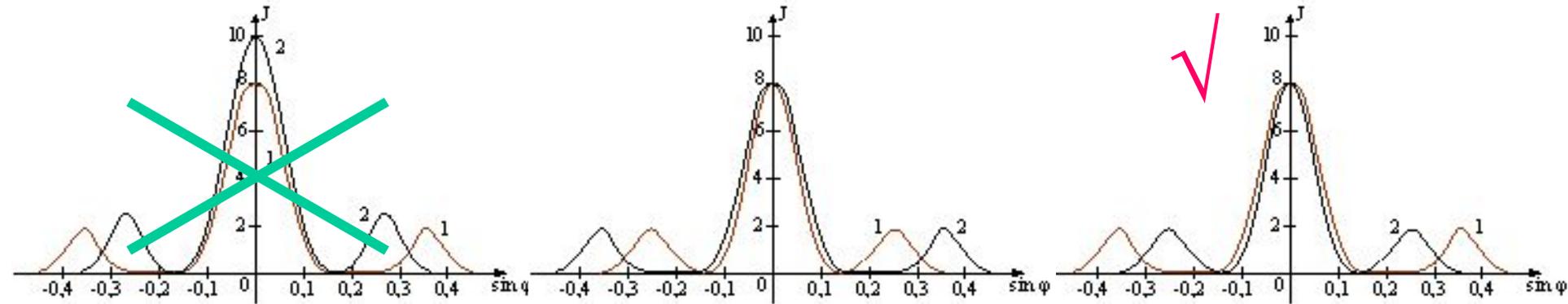
$m = const$      $d = const$

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

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



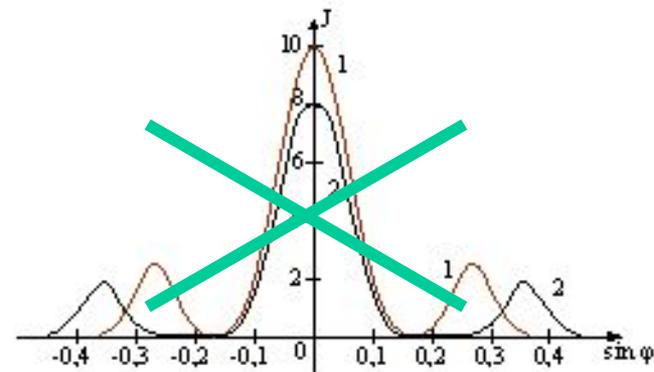
На дифракционную решетку падает излучение одинаковой интенсивности с длинами волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Укажите рисунок, иллюстрирующий положение главных максимумов, создаваемых дифракционной решеткой, если  $\lambda_1 > \lambda_2$  ? ( $J$  – интенсивность,  $\varphi$  – угол дифракции).



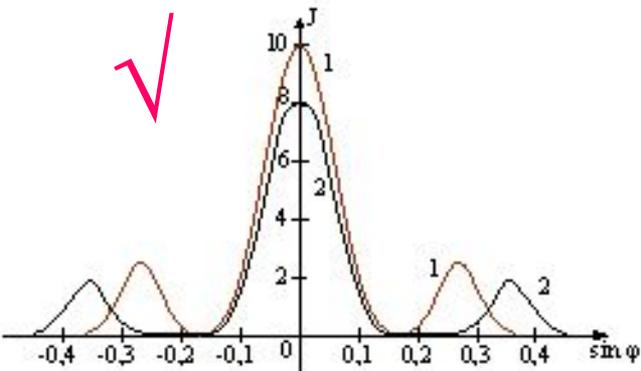
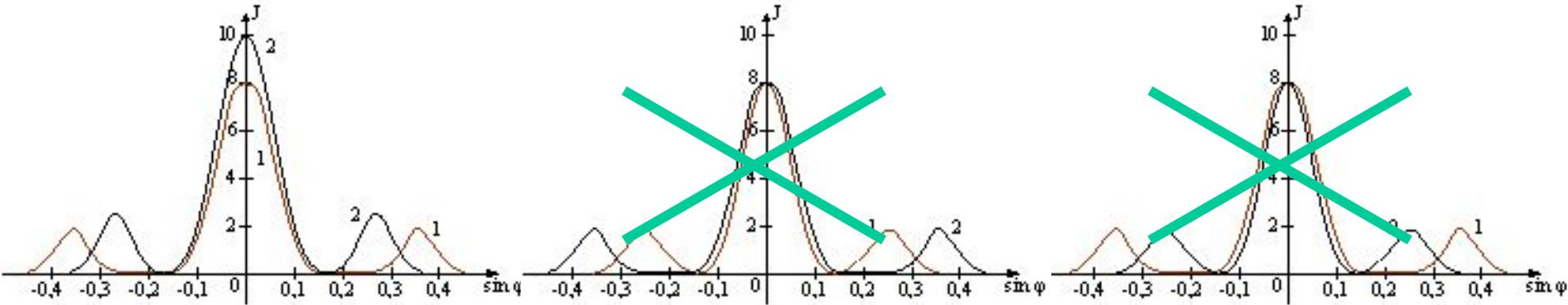
*max:*  $d \sin \varphi = \pm m \lambda$

$m = const$       $d = const$

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



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

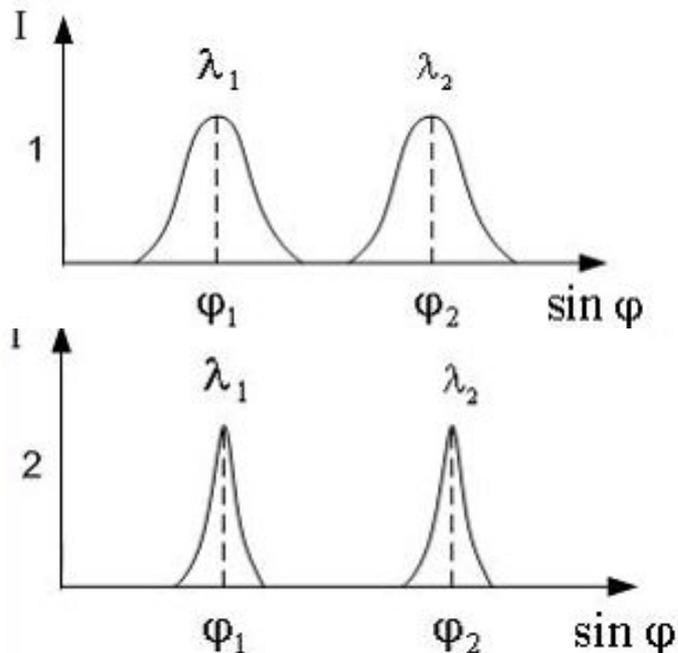


**max:**  $d \sin \varphi = \pm m \lambda$

$m = const$      $d = const$

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

две плоские монохроматические волны с длинами  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . 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.

$$N_2 > N_1$$

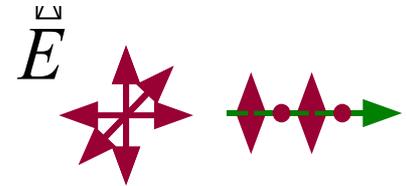
$$\text{max: } d \sin \varphi = \pm m \lambda$$

Положения максимумов не изменяется  $\Rightarrow d_2 = d_1$

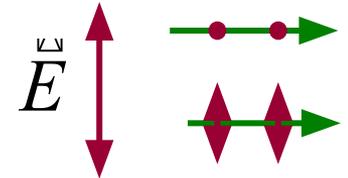
- $N_2 > N_1 ; d_1 = d_2$
- $N_1 = N_2 ; d_1 > d_2$
- $N_1 > N_2 ; d_1 = d_2$

## 4. Поляризация

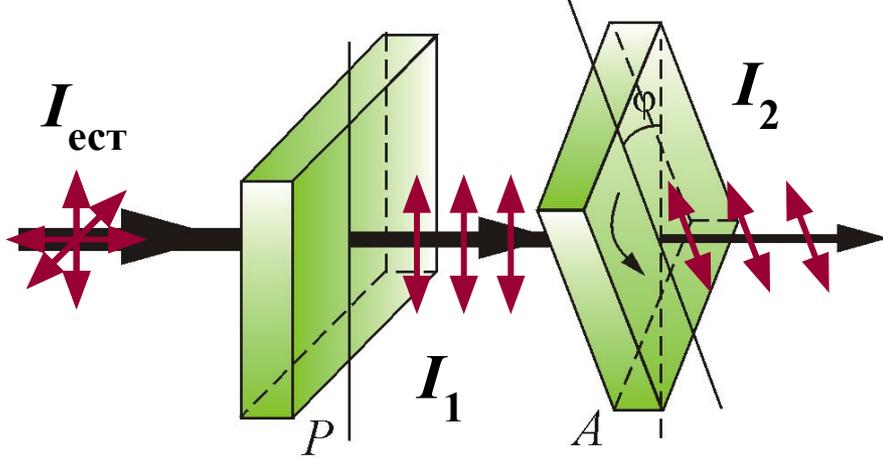
**Естественный** – свет со всевозможными равновероятными ориентациями вектора  $E$



**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

$$I_1 = I_{\text{ест}} / 2$$

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

$\varphi$  – угол между главной плоскостью анализатора и плоскостью поляризации падающего на него света

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

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

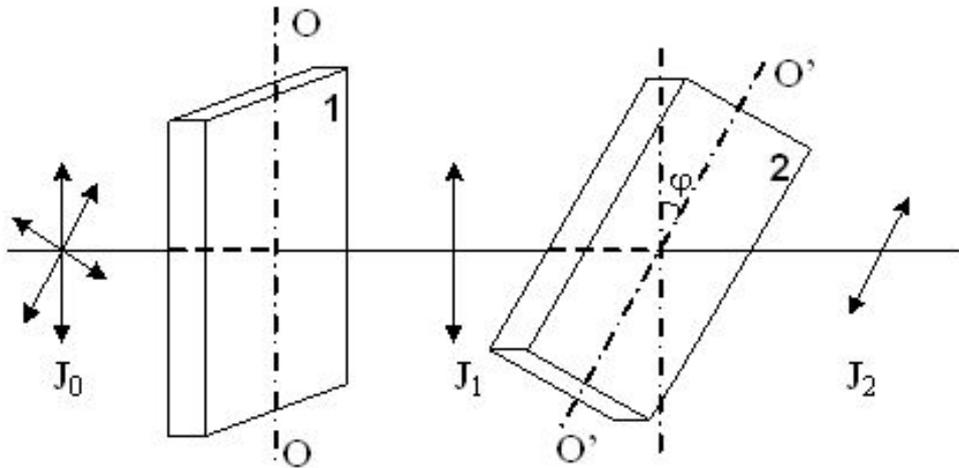
$$I_{2\max} = I_1$$

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

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

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:**

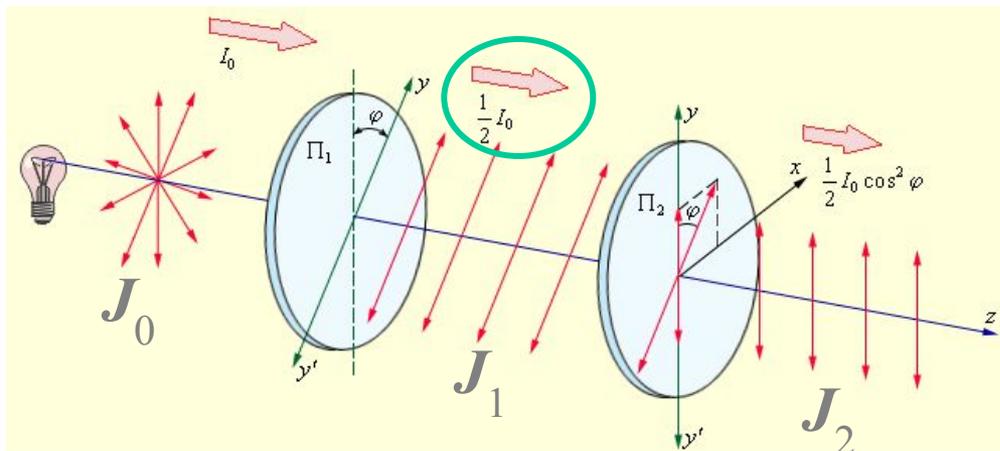
$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi$$

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

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

$$\varphi = 60^\circ$$

Пучок естественного света проходит через два идеальных поляризатора. Интенсивность естественного света равна  $I_0$ , угол между плоскостями пропускания поляризаторов равен  $\varphi$ . 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  $45^\circ$ , интенсивность пучка ...

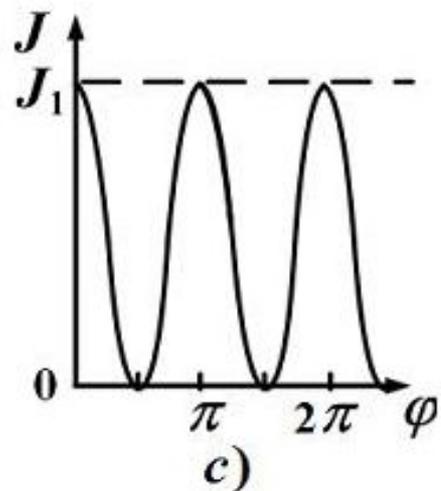
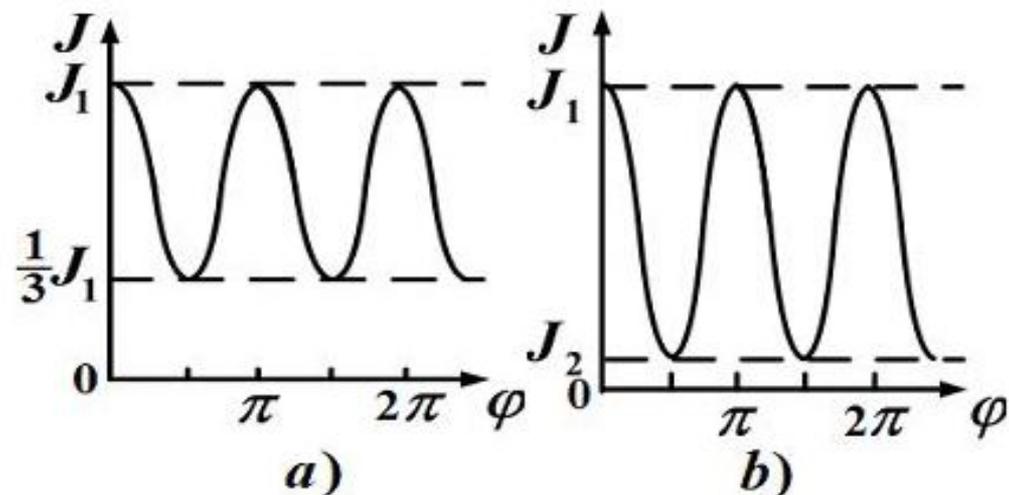
$$I_1 = \frac{I_0}{2} \quad I_2 = I_1 \cos^2 \varphi \quad I_2 = \frac{I_0}{2} \cos^2 \varphi$$

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

## 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  $\varphi$  поляризатора.



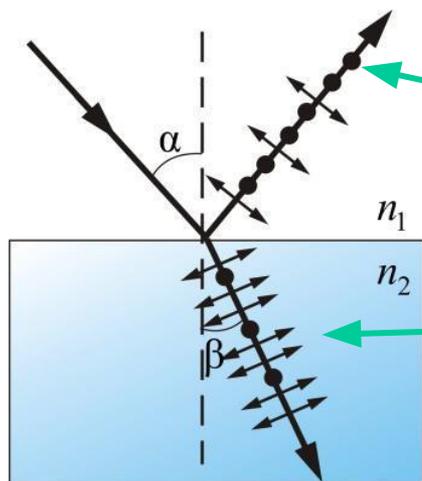
Чем больше разность между  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$ , тем больше степень поляризации.

$$P_c > P_b > P_a$$

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

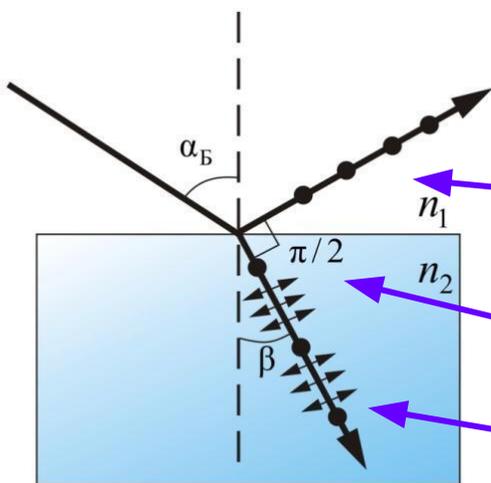


В отраженном луче преобладают колебания, **перпендикулярные** плоскости падения (на схеме больше точек);

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

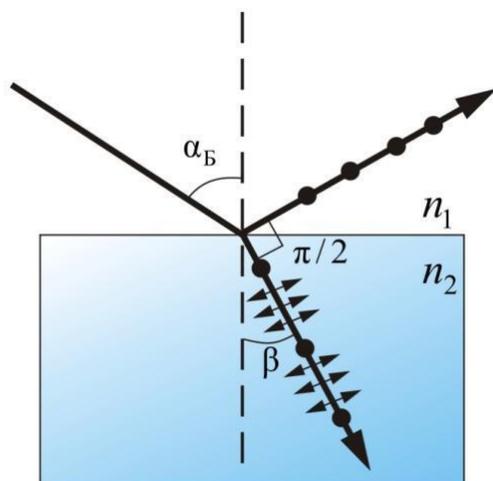
На диэлектрическое зеркало под углом Брюстера падает луч естественного света. Для отраженного и преломленного луча справедливы утверждения ...

#### 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...



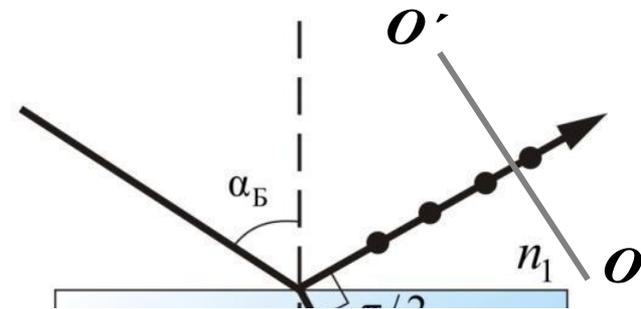
## Варианты ответов

- 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  $90^\circ$

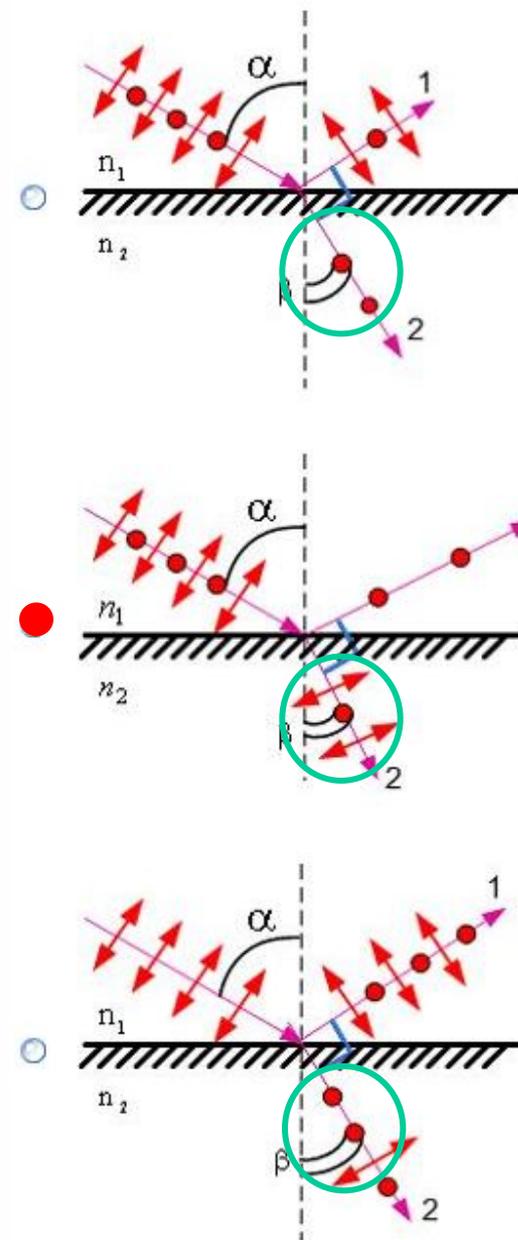


свет падает под углом Брюстера



отраженный луч полностью поляризован

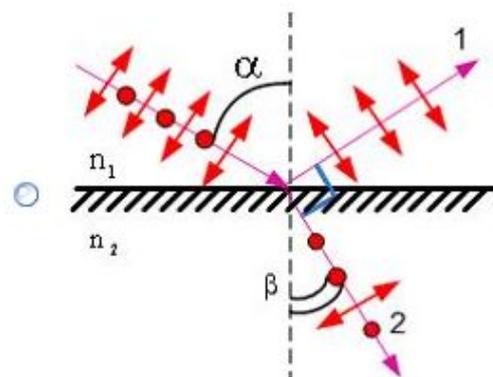
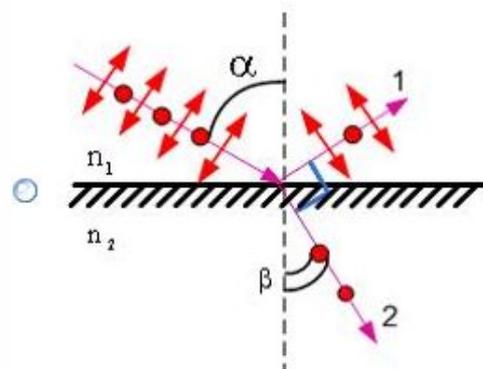
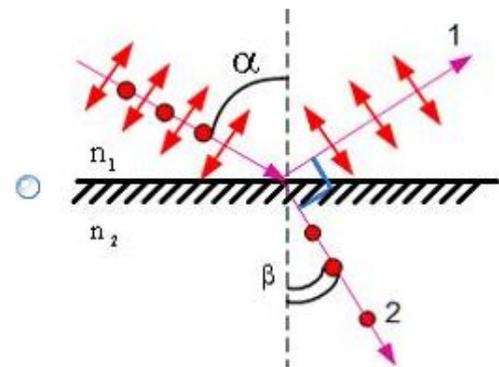
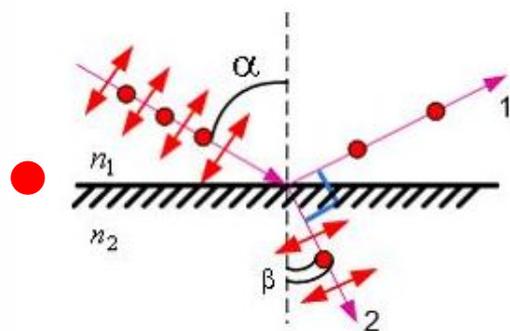
колебания в отраженном луче перпендикулярны плоскости падения



## Задание N 9

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

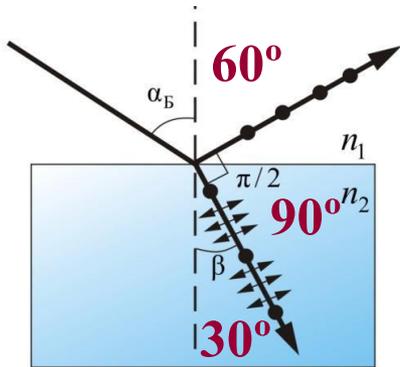
### Варианты ответов



### Задание N 11

### Варианты ответов

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



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

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

$$\beta = 30^\circ$$

- $45^\circ$
- $90^\circ$
- $60^\circ$
- $30^\circ$

### Задание N 27

### Варианты ответов

При падении света из воздуха на диэлектрик отраженный луч полностью поляризован. Угол преломления равен  $30^\circ$ . 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  $\nu$  (длины волны  $\lambda$ ) света.

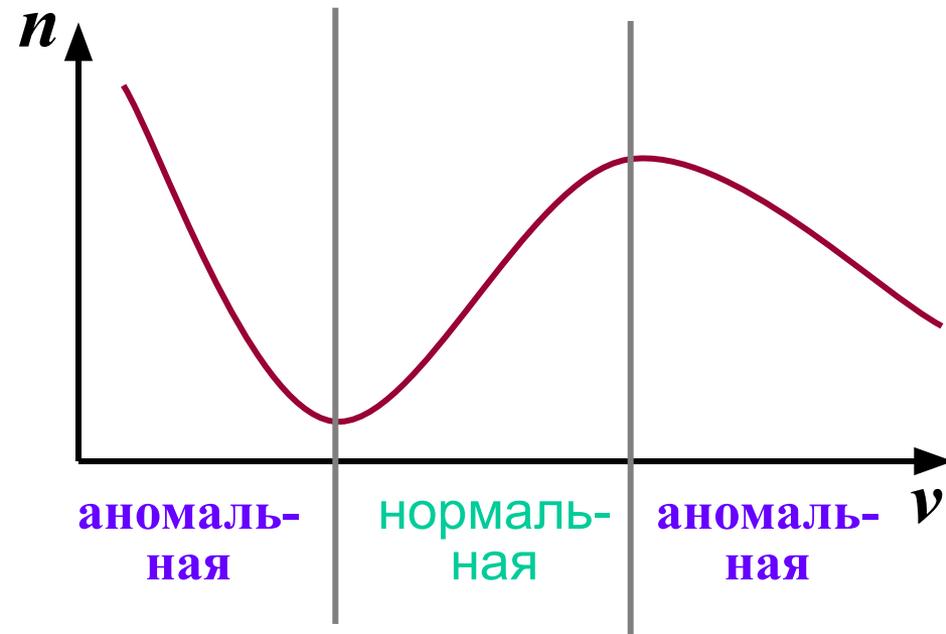
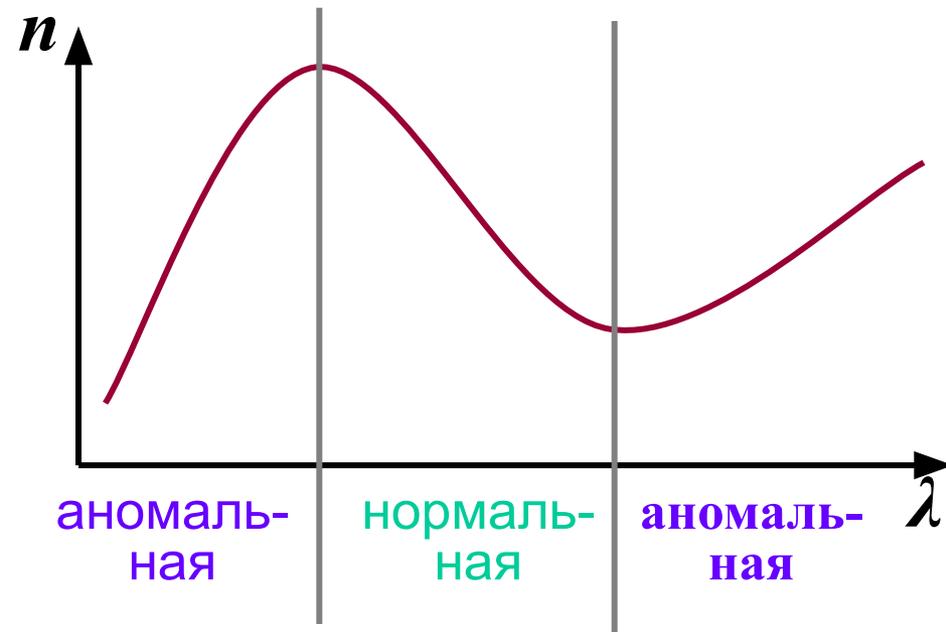
$$n = f(\nu) \quad \text{или} \quad n = f(\lambda) \quad \lambda = \frac{V}{\nu}$$

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

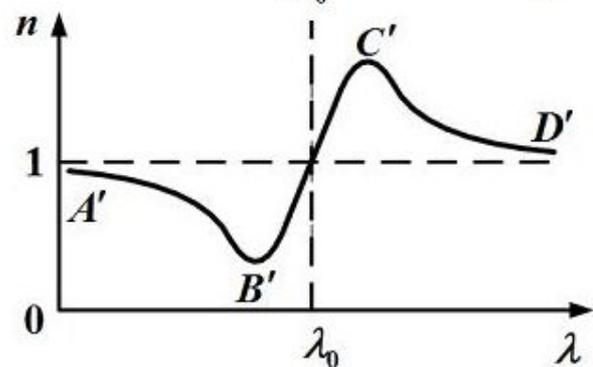
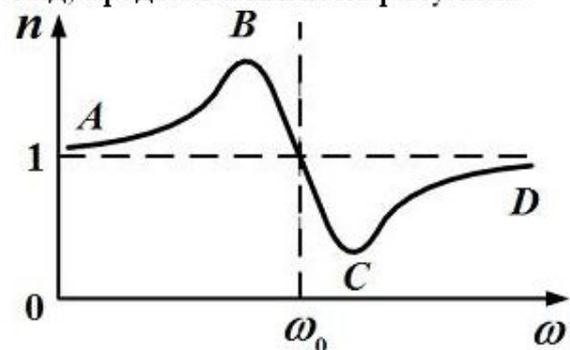
– нормальная дисперсия

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

– аномальная дисперсия



Графики дисперсионных кривых зависимостей показателя преломления среды от частоты  $\omega$  и длины волны  $\lambda$  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

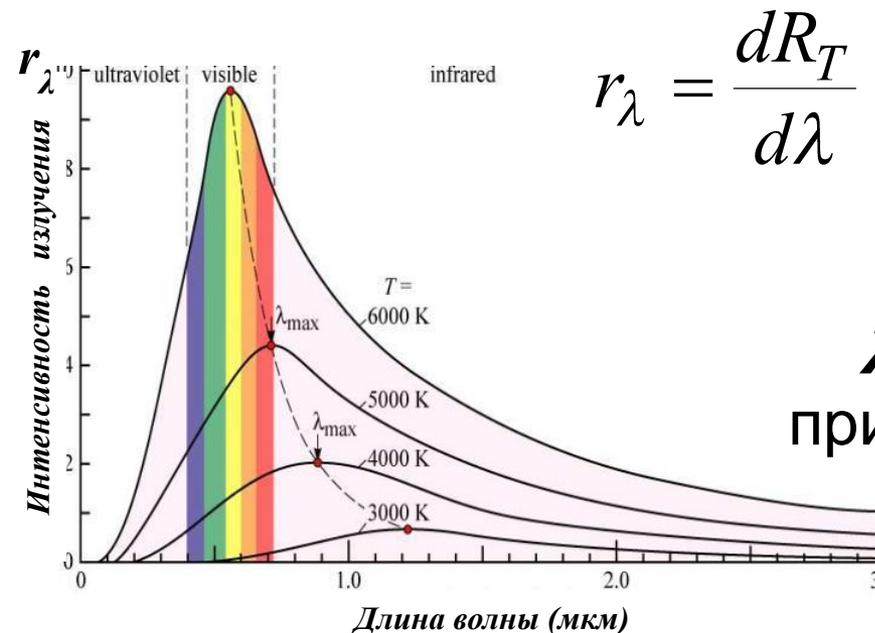
## 1. Тепловое излучение

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  $\uparrow$**



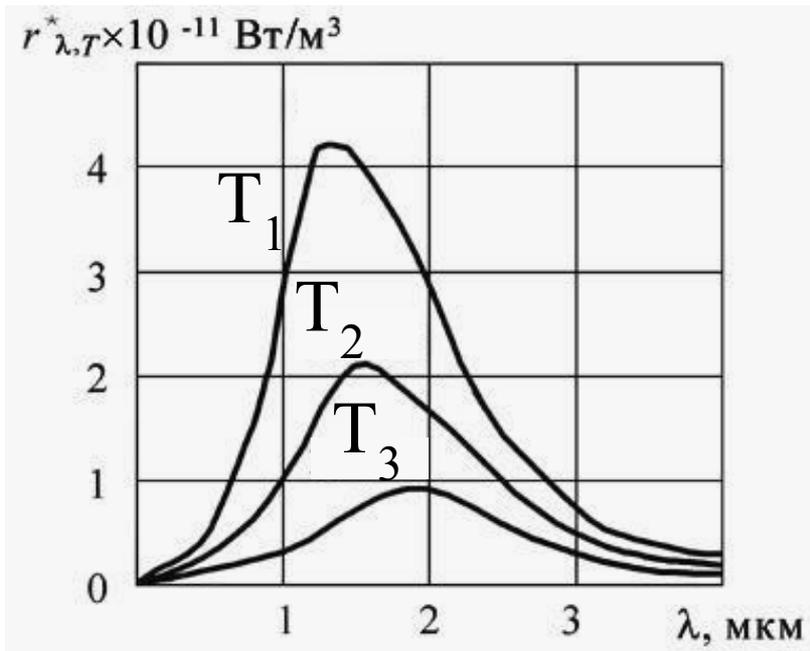
$$r_\lambda = \frac{dR_T}{d\lambda}$$

– спектральная плотность энергетической светимости

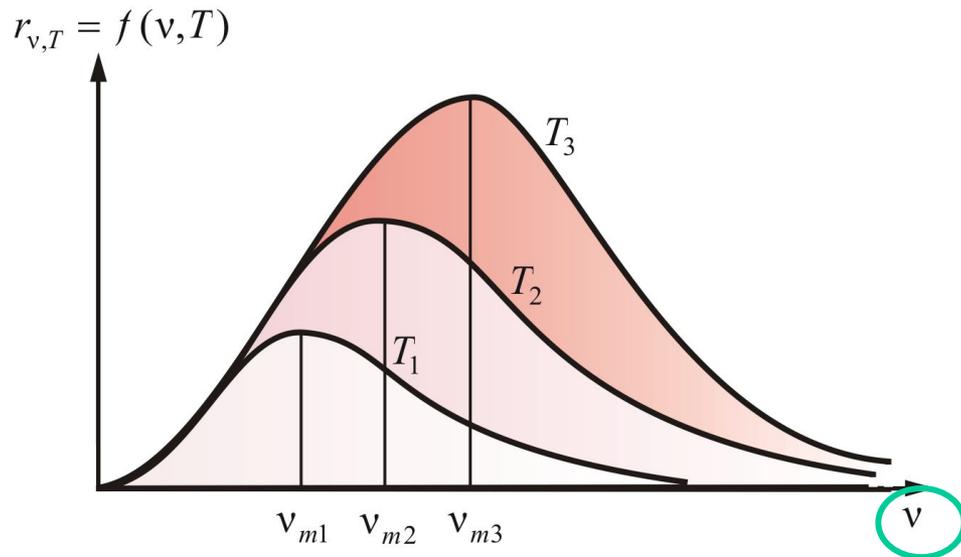
$$\lambda_{\text{max}} = b/T \quad \text{– закон Вина}$$

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

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

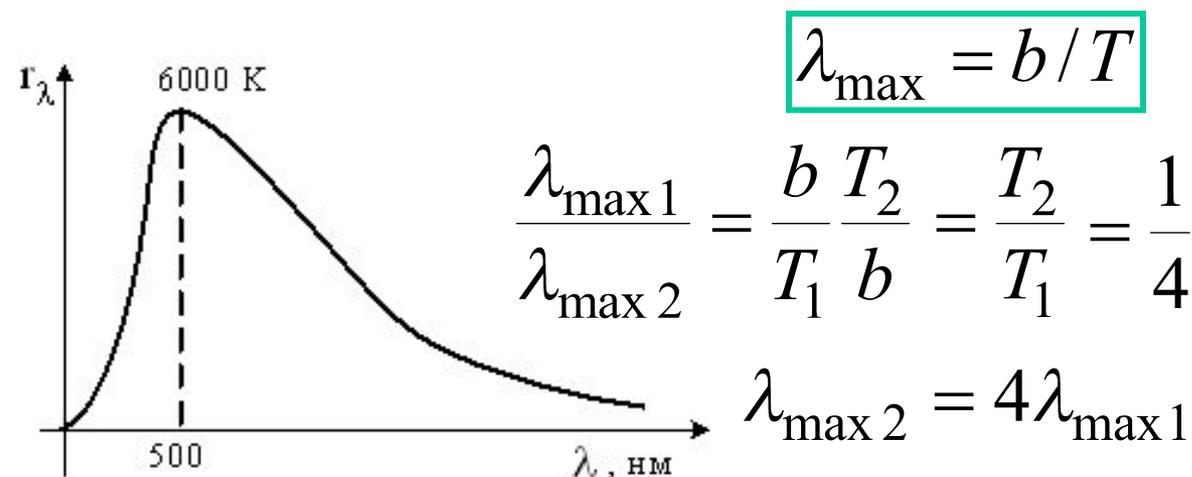


$$T_1 > T_2 > T_3$$



$$T_1 < T_2 < T_3$$

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...

$R = \sigma T^4$

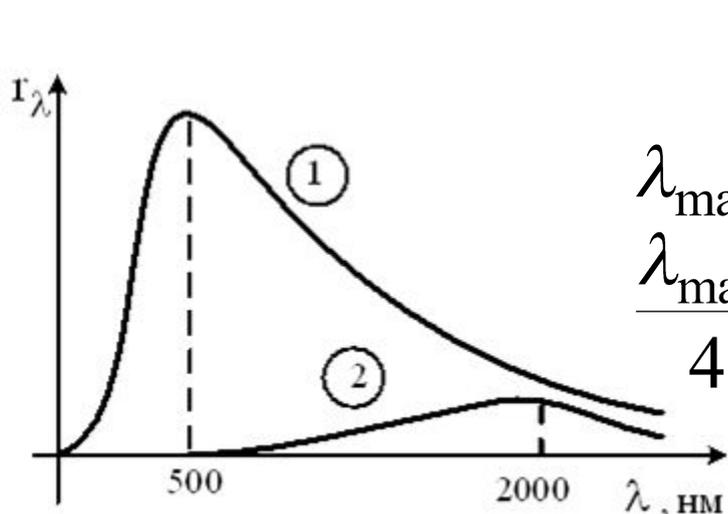
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sigma T_1^4}{\sigma T_2^4} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4 = 2^4 = 16$$

$$R_2 = R_1/16$$

- 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)...

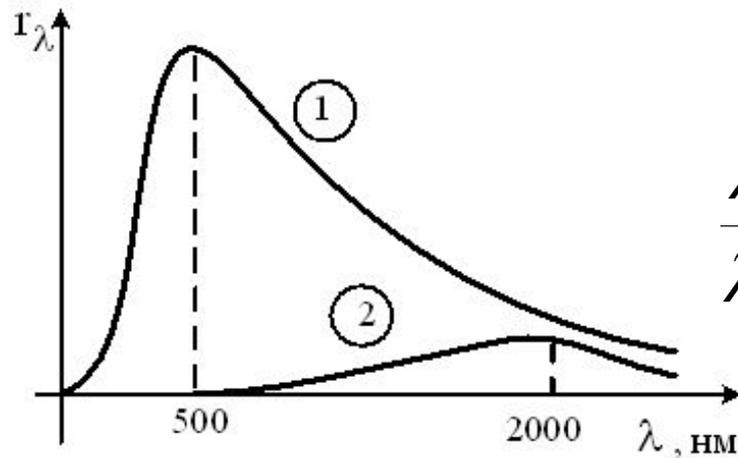
$$\frac{\lambda_{\max 1}}{\lambda_{\max 2}} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{500}{2000} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{1}{4} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow T_1 = 4 \cdot T_2$$

**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

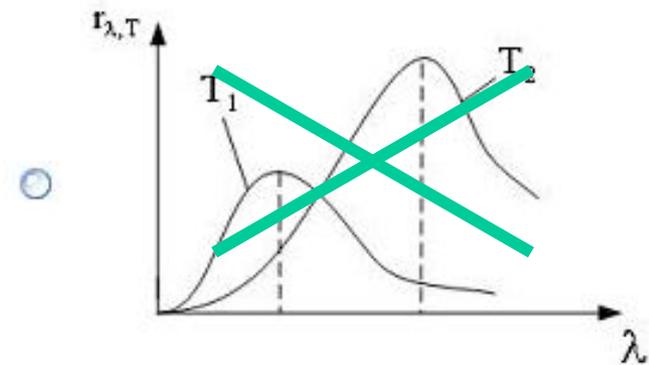
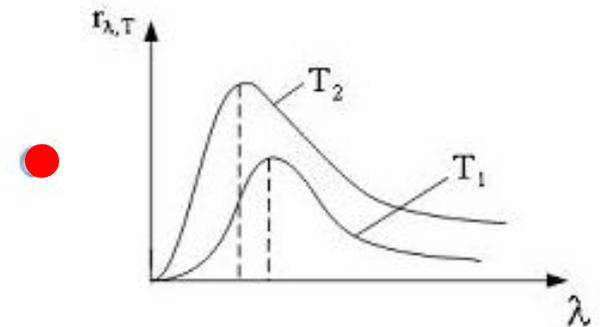
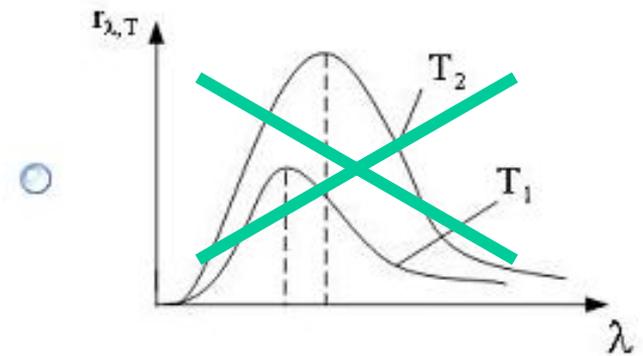
На рисунках по оси абсцисс отложена длина волны теплового излучения тела, по оси ординат – излучательная способность. Кривые соответствуют двум температура, причем  $T_1 < T_2$ . На качественном уровне правильно отражает законы излучения АЧТ рисунок ...

при  $\uparrow T$  площадь  $\uparrow$

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

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

## Варианты ответов



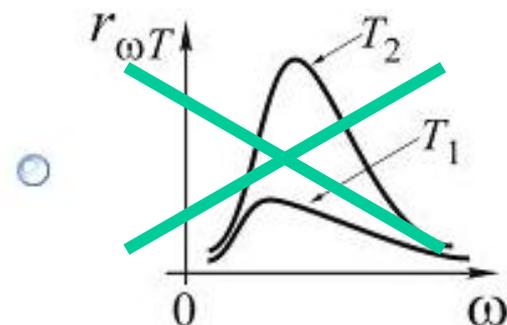
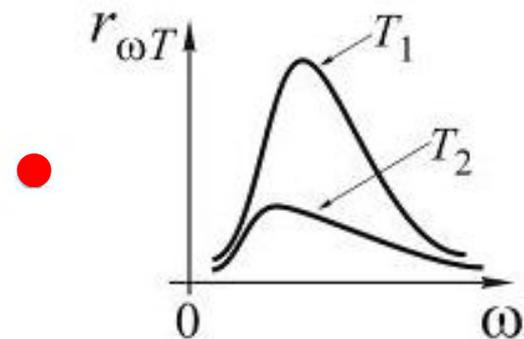
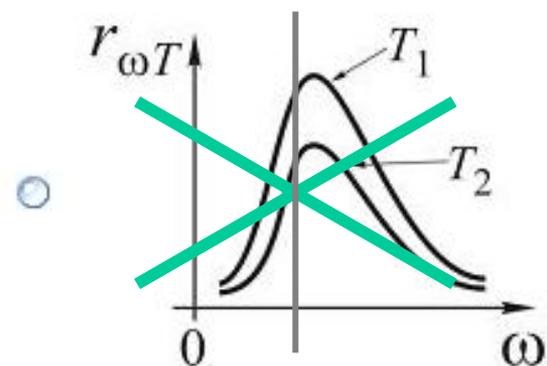
### Задание N 29

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 ...

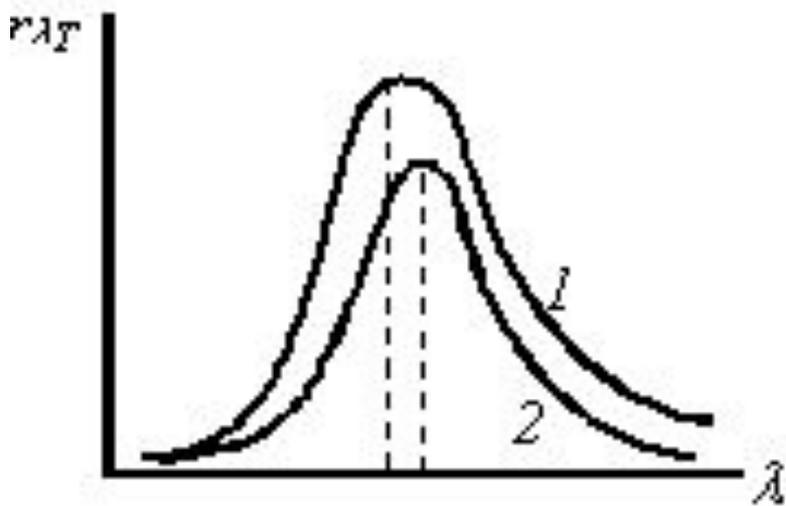
при  $\uparrow T$  площадь  $\uparrow$

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

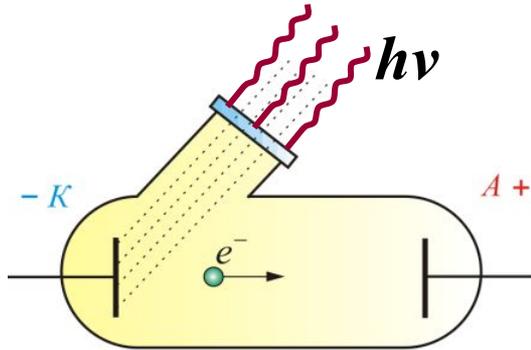
$$R_{T1} > R_{T2}$$

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

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

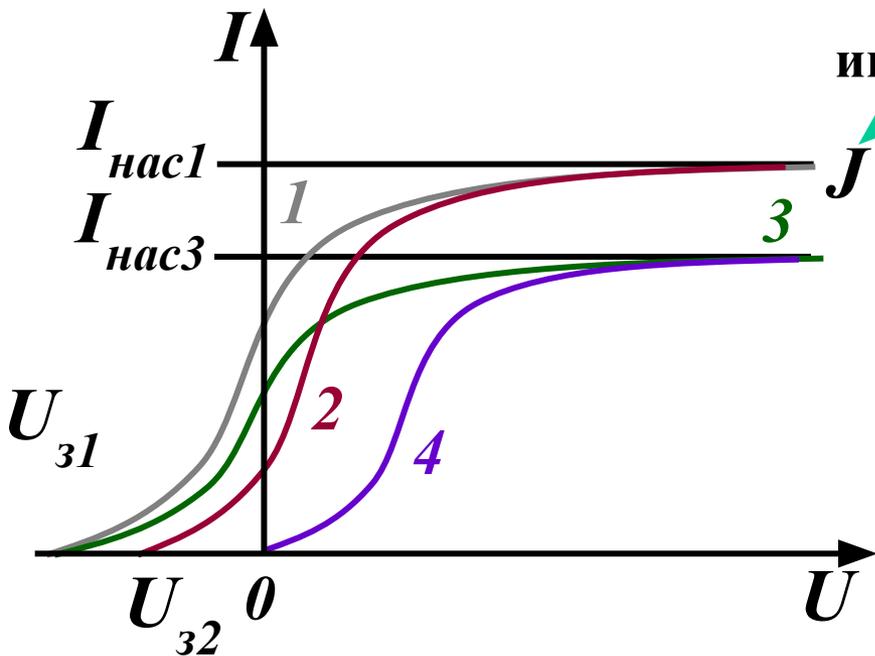
$$\nu_{кр} = \frac{A}{h} \quad \text{— красная граница фотоэффекта}$$

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

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

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

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



интенсивность света

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

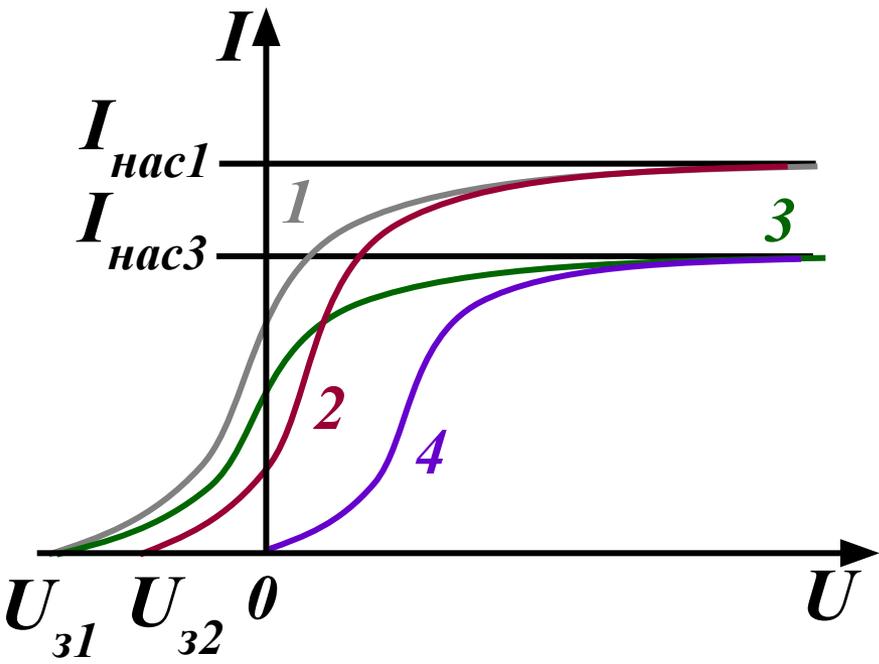
$$J_1 = J_2 > J_3 = J_4$$

заряд  
электрона

задерживающие  
напряжение

$$E_k = eU_з$$

все выбитые электроны вернулись обратно



$$hv = eU_3 + A$$

фотокатод не  
меняется

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

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

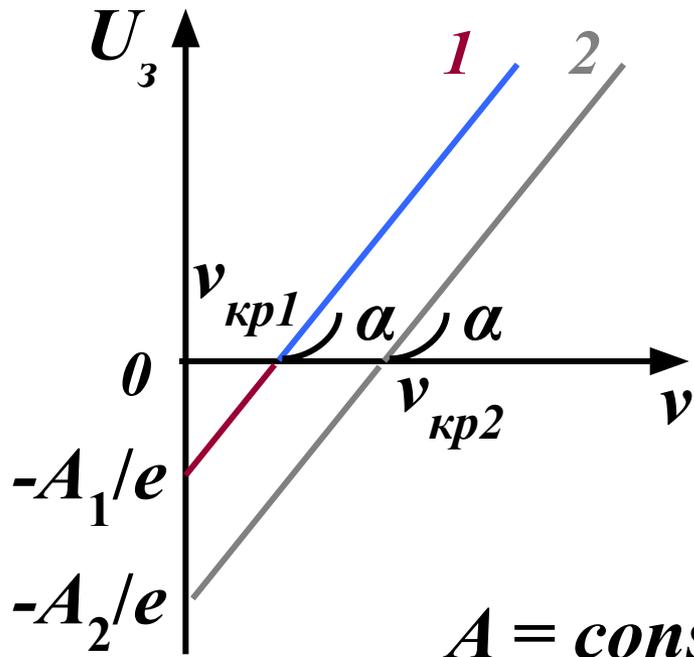
$$U_3 = 0 \Rightarrow \nu = \nu_{кр} \Rightarrow \nu_4 = \nu_{кр}$$

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

$\nu > \nu_{kp}$      $U_3 \sim \nu$

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

$A = \text{const}$

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

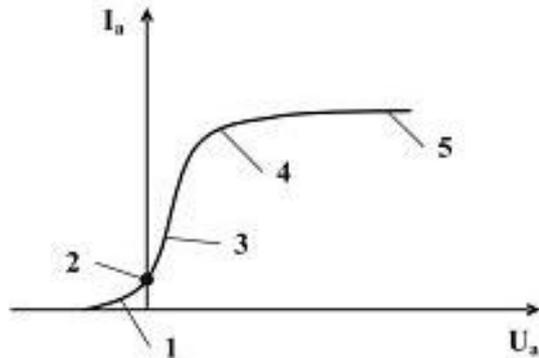
$$h(\nu_2 - \nu_1) = e(U_{32} - U_{31})$$

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

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

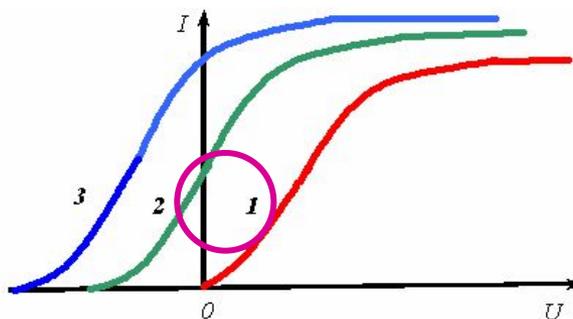
$$\nu = 0 \Rightarrow eU_3 = -A$$

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?

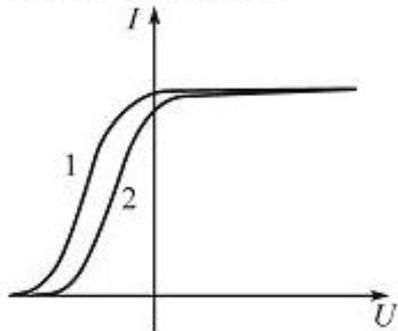


$$U_{3I} = 0 \Rightarrow \nu_1 = \nu_{кр}$$

### Задание N 6

### Варианты ответов

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



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

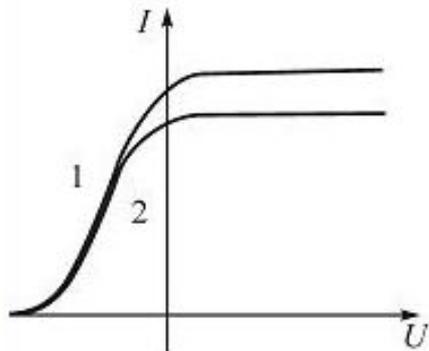
$$U_{z1} > U_{z2} \Rightarrow \nu_1 > \nu_2$$

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

### Задание N 3

### Варианты ответов

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

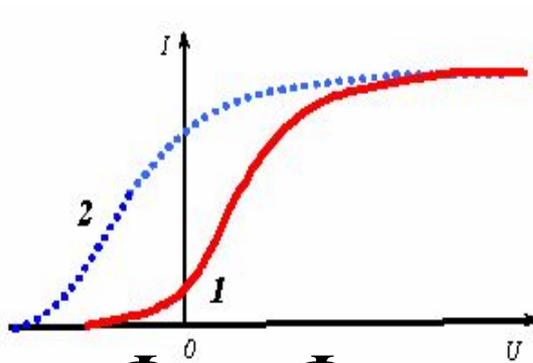


$$I_{нас1} > I_{нас2} \Rightarrow J_1 > J_2$$

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

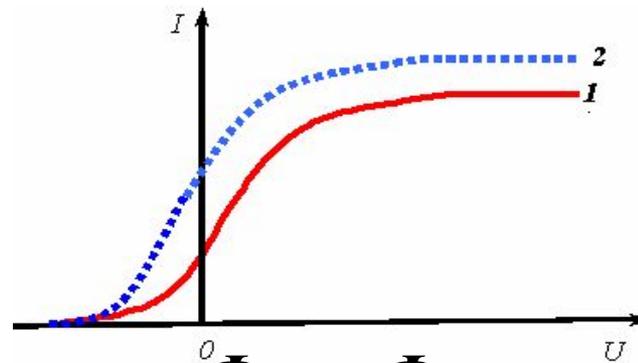
- $\nu_1 = \nu_2, E_1 < E_2$
- $\nu_1 > \nu_2, E_1 = E_2$
- $\nu_1 = \nu_2, E_1 > E_2$
- $\nu_1 < \nu_2, E_1 = E_2$

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 ( $\Phi$ ).



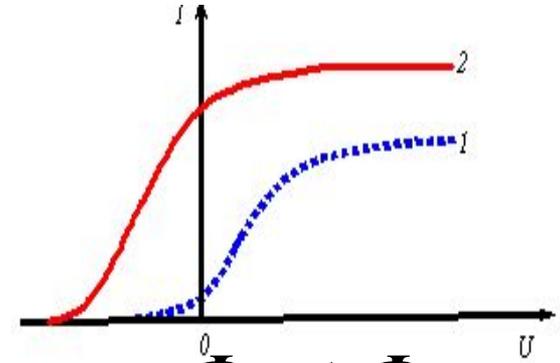
$$\Phi_1 = \Phi_2$$

$$A_1 > A_2$$



$$\Phi_1 < \Phi_2$$

$$A_1 = A_2$$



$$\Phi_1 < \Phi_2$$

$$A_1 > A_2$$

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

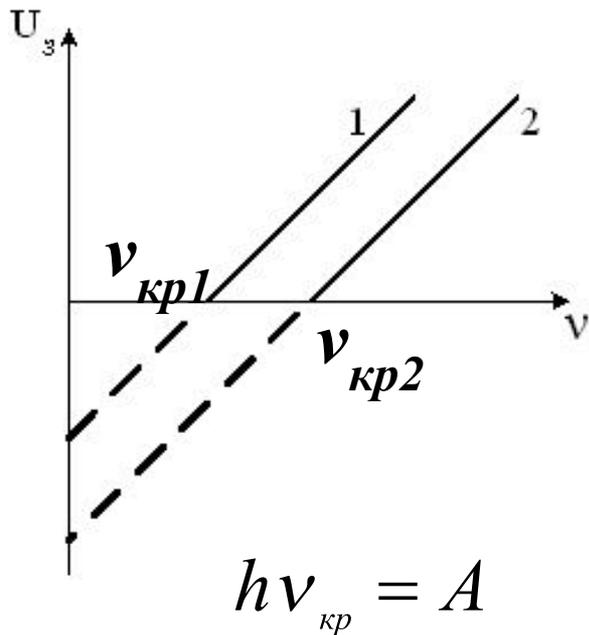
$$\nu = \text{const}$$

$$eU_3 = h\nu - A$$

$$A \uparrow$$

$$U_3 \downarrow$$

На рисунке представлены две зависимости задерживающего напряжения  $U_3$  от частоты падающего света  $\nu$  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

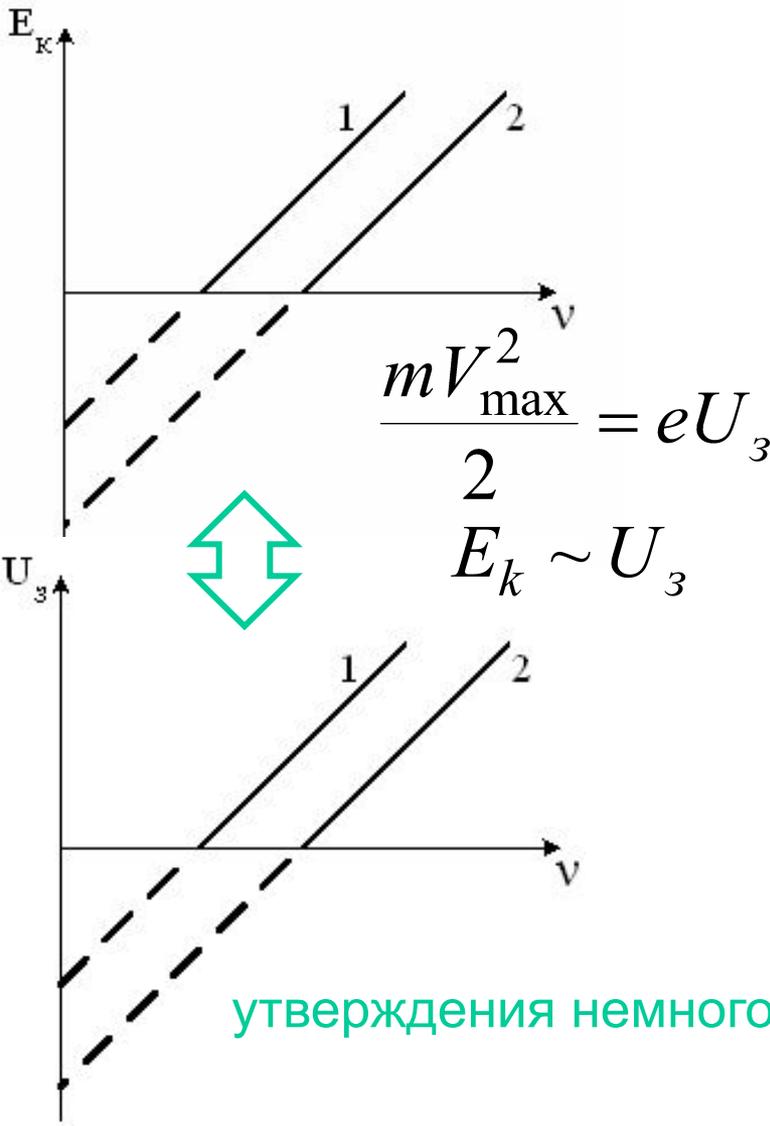
✓ Зависимости получены для двух различных металлов

✓  $\lambda_{01} > \lambda_{02}$ , где  $\lambda_{01}$  и  $\lambda_{02}$  – 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  $\nu$  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

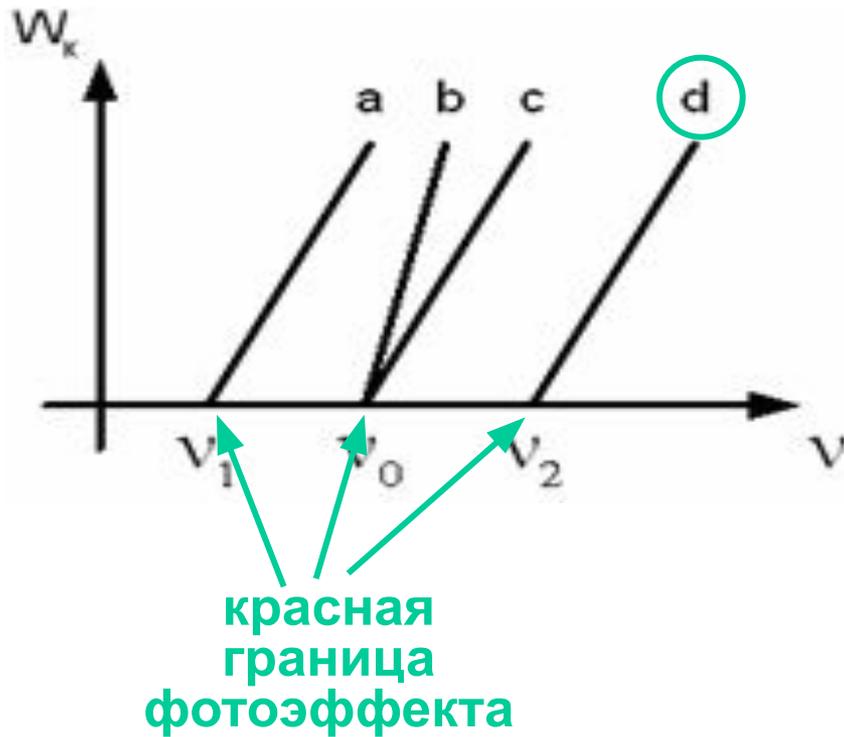
$\lambda_{01} < \lambda_{02}$ , где  $\lambda_{01}$  и  $\lambda_{02}$  – значения красной границы фотоэффекта для соответствующего металла

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  $\nu$  и кинетическая энергия  $W_k$  фотоэлектронов, вырываемых с поверхности фотокатода. Для некоторого материала фотокатода исследованная зависимость на рисунке представлена линией  $c$ .



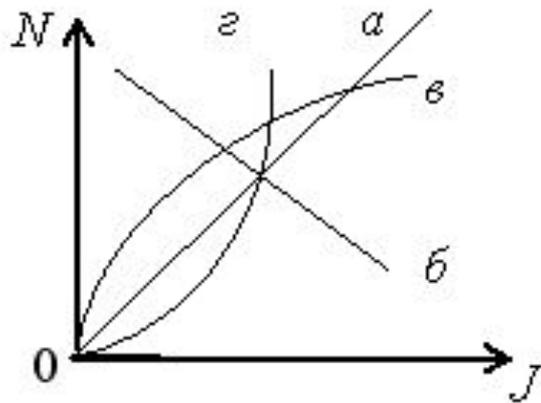
Укажите линию, которая будет соответствовать случаю, когда материал фотокатода заменен на материал с большей работой выхода.

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

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

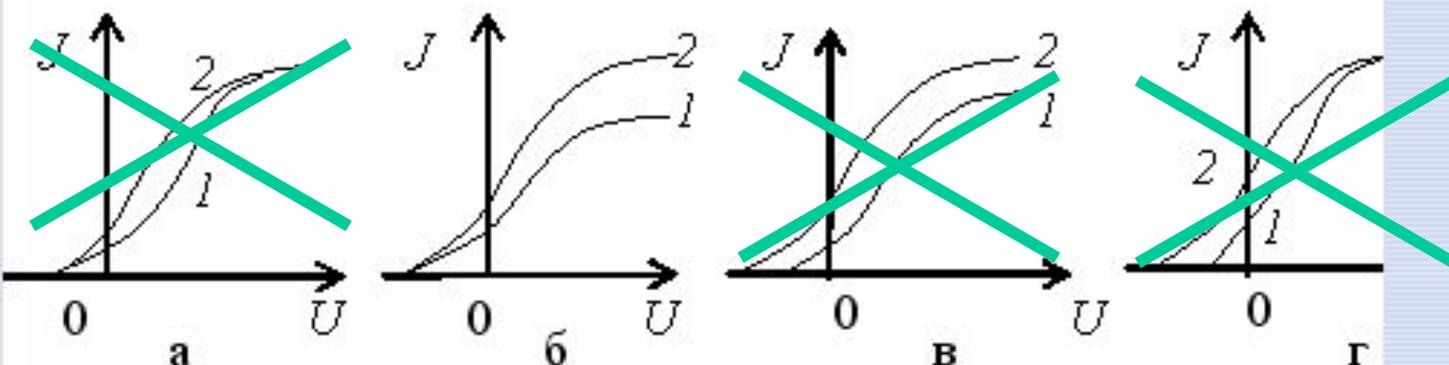
в

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

### Задание N 4

### Варианты ответов

Если длина волны света, падающего на фотоземент остается 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:  $p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$

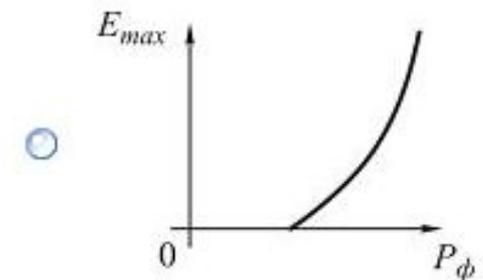
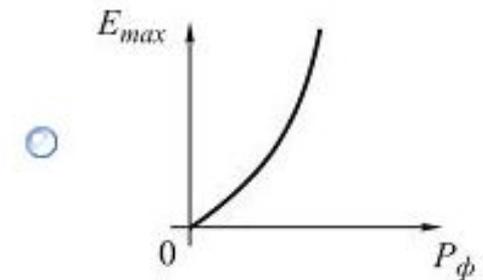
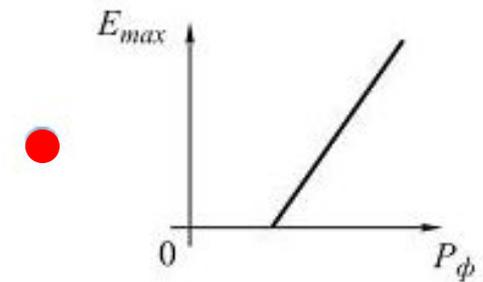
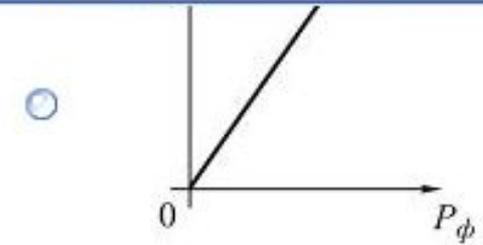
При фотоэффекте максимальная кинетическая энергия  $E_{max}$  фотоэлектронов зависит от импульса падающих фотонов согласно графику ...

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

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

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

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



### 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



## 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  $\lambda$  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

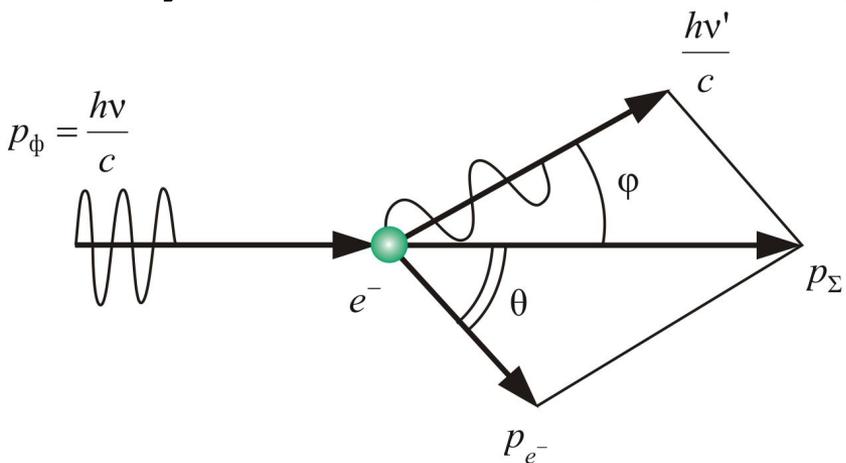
•2P

•P/2

•4P

# 5. Эффект Комптона

**Эффект Комптона** – рассеяние фотонов электромагнитного излучения на свободных электронах.



$p_\phi$  – импульс фотона до столкновения;

$p_{e^-}$  – импульс электрона;

$p_\phi'$  – импульс фотона после столкновения;

$\phi$  – угол рассеяния фотона.

**ЗСИ**

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

энергия электрона до и после столкновения

**ЗСЭ**

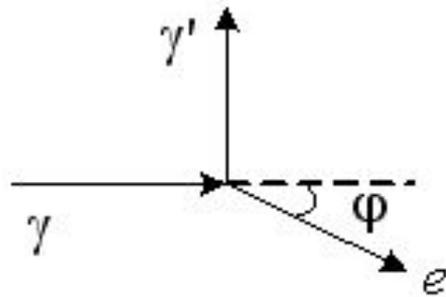
$$h\nu + W_0 = h\nu' + W$$

$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_e (1 - \cos\phi)$  – изменение длины волны падающего фотона

$\lambda_e = 2,426 \text{ пм}$

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

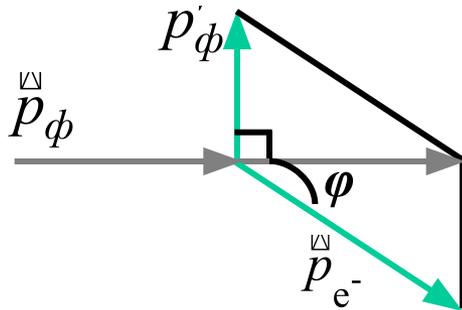
На рисунке показаны направления падающего фотона ( $\gamma$ ), рассеянного фотона ( $\gamma'$ ) и электрона отдачи ( $e$ ). Угол рассеяния  $90^\circ$ , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол  $\varphi = 30^\circ$ . Если импульс падающего фотона  $P_\phi$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



ЗСИ

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

$p_{e^-} - ?$

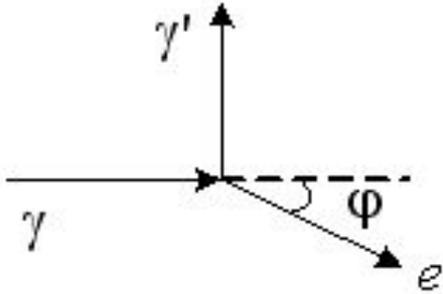


$$p_\phi = p_{e^-} \cos \varphi \quad p_{e^-} = \frac{p_\phi}{\cos \varphi}$$

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

- $\frac{2}{\sqrt{3}} P_\phi$
- $1,5 P_\phi$
- $1,5\sqrt{3} P_\phi$
- $\sqrt{3} P_\phi$

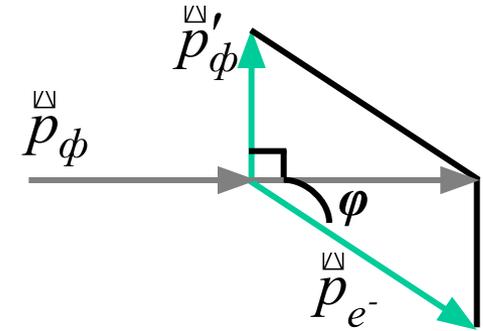
На рисунке показаны направления падающего фотона ( $\gamma$ ), рассеянного фотона ( $\gamma'$ ) и электрона отдачи ( $e$ ). Угол рассеяния  $90^\circ$ , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол  $\varphi=30^\circ$ . Если импульс падающего фотона  $P_\phi$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



ЗСИ

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

$$p'_\phi - ?$$

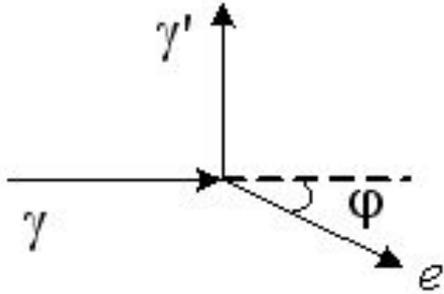


$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{p'_\phi}{p_\phi}$$

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

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

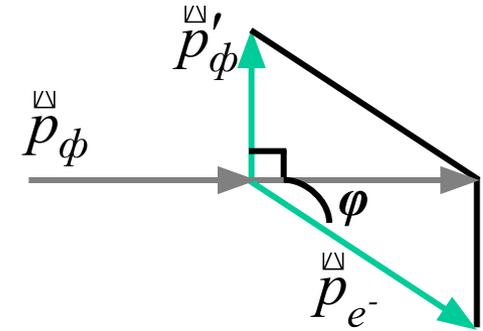
На рисунке показаны направления падающего фотона ( $\gamma$ ), рассеянного фотона ( $\gamma'$ ) и электрона отдачи ( $e$ ). Угол рассеяния  $90^\circ$ , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол  $\varphi=30^\circ$ . Если импульс электрона отдачи  $3(\text{МэВ}\cdot\text{с})/\text{м}$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



ЗСИ

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

$$p'_\phi - ?$$



$$\varphi = 30^\circ$$



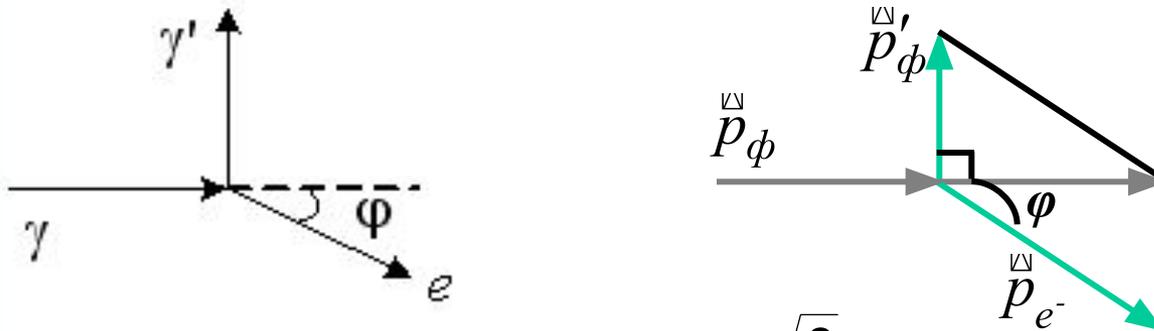
$$p'_\phi = p_{e^-} / 2 = 1,5$$

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

## Задание N 14

## Варианты ответов

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



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

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