

СОДЕРЖАНИЕ ПРЕЗЕНТАЦИИ:

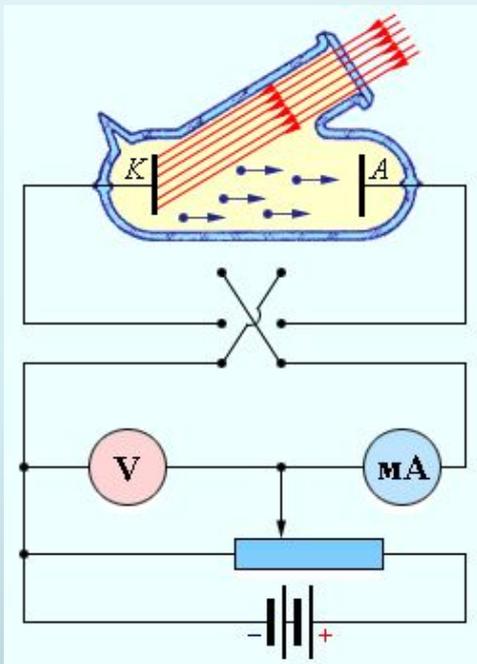
1 раздел. Теория фотоэффекта

2 раздел. Графики зависимостей величин при
фотоэффекте

3 раздел. Решение задач уровня А и В

4 раздел. Решение расчетных задач уровня С

ФОТОЭФФЕКТ. ТЕОРИЯ.



Фотоэффектом называется явление, состоящее в выбивании светом электронов, находящихся в металле.

ЗАКОНЫ ФОТОЭФФЕКТА

I закон

Величина фототока насыщения пропорциональна интенсивности светового потока.

II закон

Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты и не зависит от его интенсивности.

III закон

Для каждого вещества существует минимальная частота света, называемая красной границей фотоэффекта, ниже которой фотоэффект невозможен.

ФОРМУЛА ЭЙНШТЕЙНА

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$$

*ЗСЭ в явлении фотоэффекта : Энергия фотона
расходуется на:*

- 1) совершение работы выхода электронов с поверхности металла*
- 2) сообщение электрону кинетической энергии*

НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ, ПРИ КОТОРОМ ВОЗМОЖЕН ФОТОЭФФЕКТ

1. Вылета электронов нет. $E_{\phi} = h\nu < A_{\text{вых}}$

2. Вылет электронов может наступить, но при кинетической энергии равной 0, где ν_1 – красная граница фотоэффекта.

$$E_{\phi} = h\nu_1 = A_{\text{вых}}$$

3. Наблюдается вылет электронов обладающих кинетической энергией.

$$E_{\phi} = h\nu > A_{\text{вых}}$$

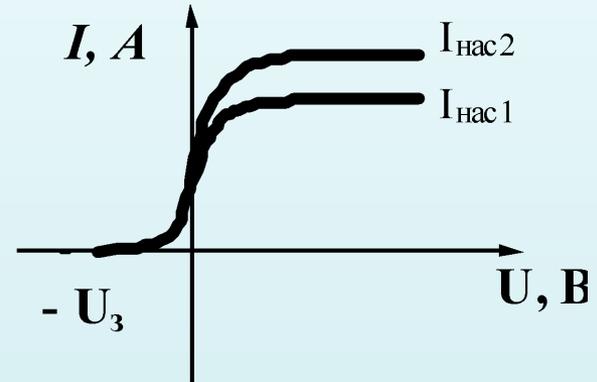
4. Если кинетическая энергия электронов не максимальная

$$E_{\phi} = h\nu = A_{\text{вых}} + eU + \frac{m\nu^2}{2}$$

ГРАФИКИ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВЕЛИЧИН ПРИ ФОТОЭФФЕКТЕ

ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ФОТОТОКА ОТ ПРИЛОЖЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ.

$$N_{\phi 2} > N_{\phi 1}$$



Чем выше расположен график, тем больше ток насыщения, тем больше интенсивность падающего света.

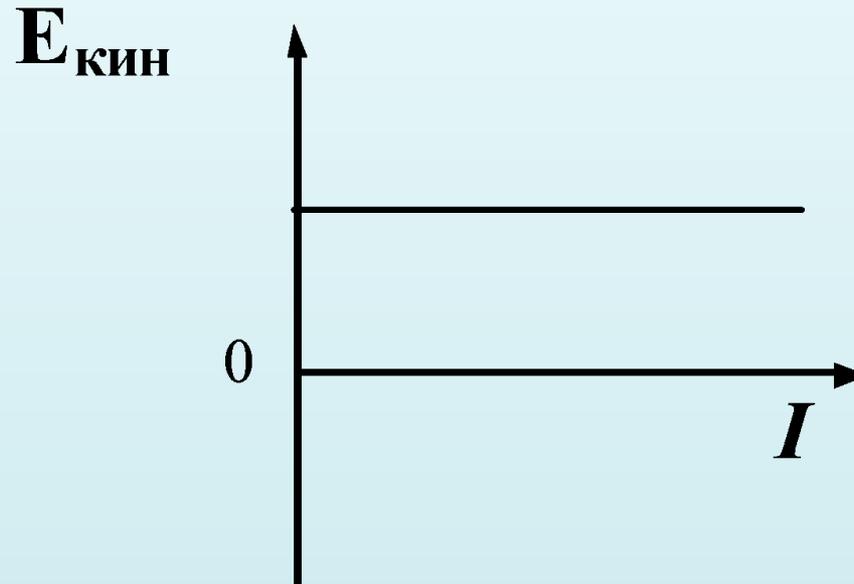
Интенсивность падающего света пропорциональна числу электронов,

вырванных из металла:

- максимальное число фотонов $N_{\phi 2}$

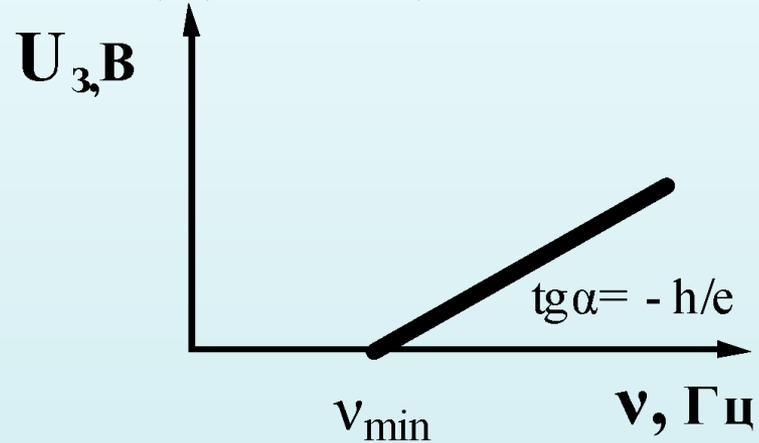
- минимальное число фотонов $N_{\phi 1}$

ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ПАДАЮЩЕГО СВЕТА



Максимальная кинетическая энергия электронов $E_k > 0$ не зависит от интенсивности падающего света.

ЗАВИСИМОСТЬ ЗАДЕРЖИВАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ЧАСТОТЫ ПАДАЮЩЕГО СВЕТА.



- 1) *Точка пересечения ν_{min} – красная граница фотоэффекта.*
- 2) *Угол наклона одинаков для всех графиков, при*
 $tg \alpha = - h/e$

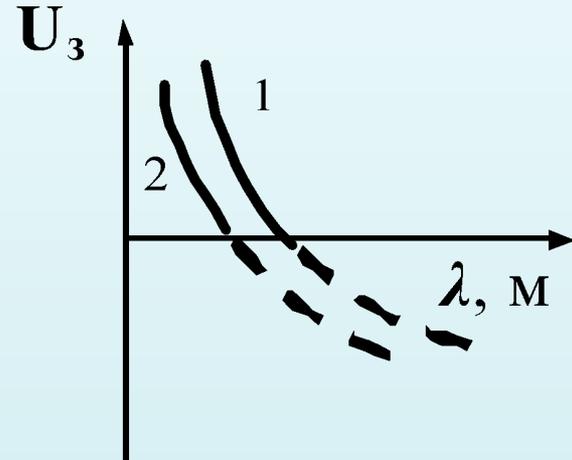
ЗАВИСИМОСТЬ ЗАДЕРЖИВАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ

Задерживающее напряжение -

это напряжение при котором все выбитые из катода электроны тормозятся у анода, после чего возвращаются назад,

U_3

- зависит от максимальной кинетической энергии, которую имеют вырванные светом электроны
- не изменяется при изменении интенсивности света.



$$eU_3 = \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

График - гипербола, смещенная по оси абсцисс
вниз

$$U_3 = \frac{\frac{ch}{\lambda} - A_{\text{вых}}}{e}$$

ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ОТ ЭНЕРГИИ ПАДАЮЩИХ НА ВЕЩЕСТВО ФОТОНОВ

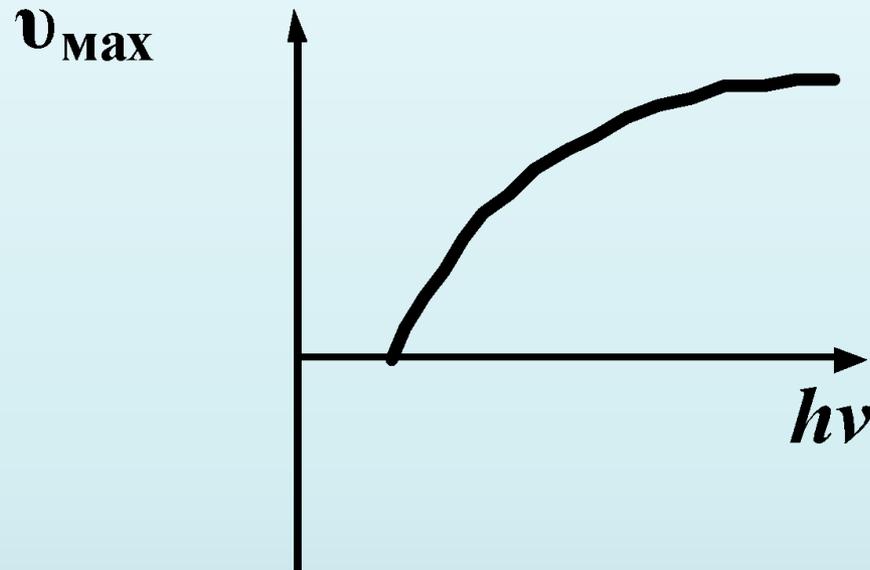


График – ветвь параболы, смещенная по оси абсцисс вправо

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2(h\nu - A_{\text{выл}})}{m}}$$

ПРЯМАЯ ЭЙНШТЕЙНА

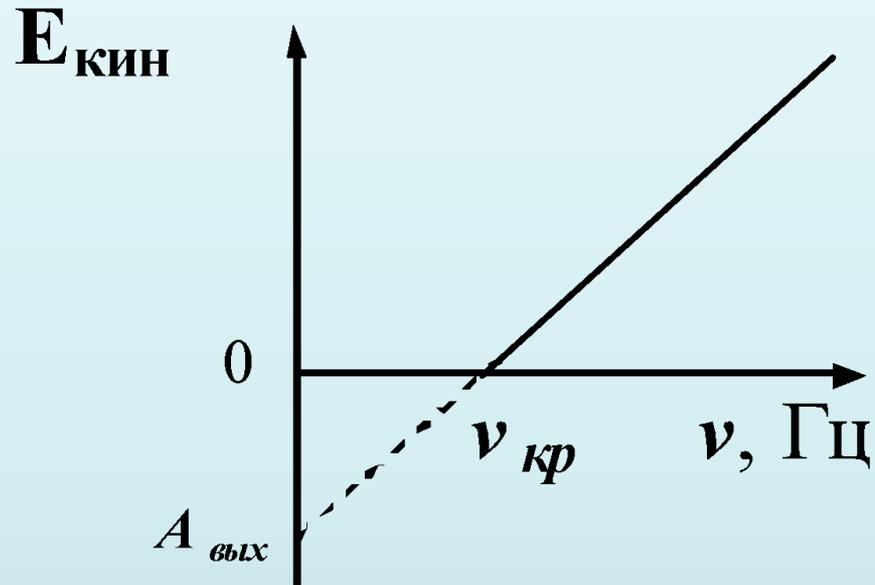
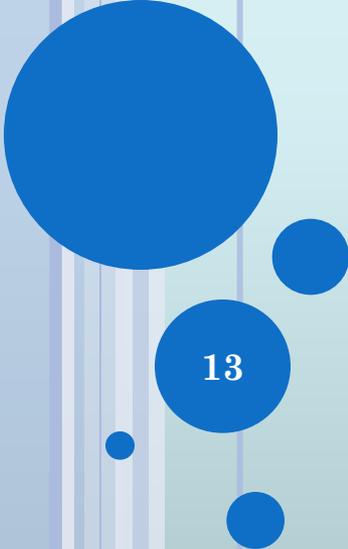


График - прямая линия, точка пересечения с осью частот дает красную границу фотоэффекта

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ



13

ЗАДАЧА 1

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта представляет собой применение к данному явлению закона сохранения

1. импульса
2. заряда
3. энергии
4. момента импульса

ЗАДАЧА 2

При изучении фотоэффекта увеличили частоту излучения без изменения светового потока. При этом...

- 1) Увеличилось количество вылетающих из металла электронов
- 2) **Увеличилась скорость вылетающих электронов**
- 3) Увеличилась сила фототока насыщения
- 4) Увеличилась работа выхода электронов из металла

Решение. Согласно II закону фотоэффекта при увеличении частоты света увеличится линейно связанная с частотой кинетическая энергия, соответственно и скорость.

ЗАДАЧА 3

При увеличении интенсивности света, падающего на фотокатод

1. уменьшается максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов
2. **увеличивается число фотоэлектронов**
3. увеличивается скорость фотоэлектронов
4. увеличивается работа выхода электронов

Решение. По I закону фотоэффекта увеличение интенсивности света приводит к увеличению числа фотоэлектронов

ЗАДАЧА 4

Какое (-ие) из утверждений справедливо (-ы)?

А. Максимальная кинетическая теория фотоэлектронов линейно возрастает с частотой и не зависит от интенсивности света.

Б. Максимальная кинетическая теория фотоэлектронов обратно пропорциональна частоте света и зависит от интенсивности света.

- 1) **только А**
- 2) только Б
- 3) и А, и Б
- 4) ни А, ни Б

ЗАДАЧА 5

Одним из фактов, подтверждающих квантовую природу света, является внешний фотоэффект. Фотоэффект- это

А. возникновение тока в замкнутом контуре или разности потенциалов на концах разомкнутого контура при изменении магнитного потока, пронизывающего контур.

Б. выбивание электронов с поверхности металла под действием света.

В. Взаимное проникновение соприкасающихся веществ вследствие беспорядочного движения составляющих их частиц.

Какое (-ие) из утверждений справедливо (-ы)?

- 1) Только А
- 2) **Только Б**
- 3) Только В
- 4) А и В

ЗАДАЧА 6

В опытах по фотоэффекту взяли металлическую пластину с работой выхода $3,4 \cdot 10^{-19}$ Дж и стали освещать ее светом с частотой $3 \cdot 10^{14}$ Гц. Затем частоту увеличили в 2 раза, оставив неизменным число фотонов, падающих на пластину за 1 с. В результате число фотоэлектронов, покидающих пластину за 1с:

1. не изменилось
2. стало не равным нулю
3. увеличилось в два раза
4. увеличилось менее чем в 2 раза

Решение. 1. По уравнению Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}}$$

2. Вычислим энергию кванта и сравним с работой выхода::

$$E = h\nu_{\text{кр}} = 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{14} = 19,8 \cdot 10^{-20} \text{ Дж} = 1,98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

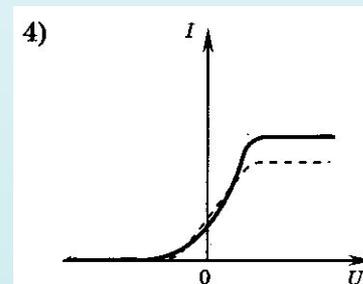
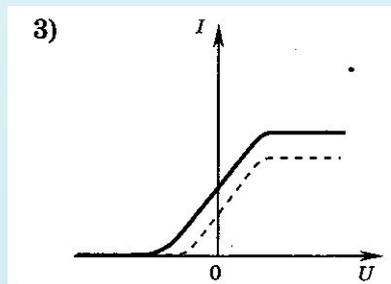
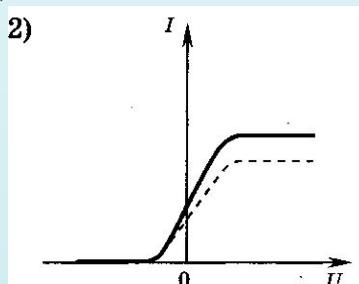
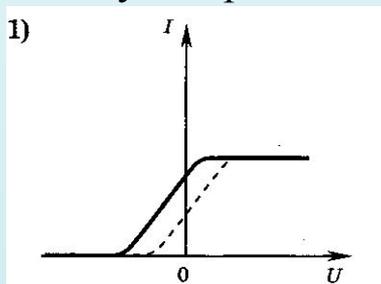
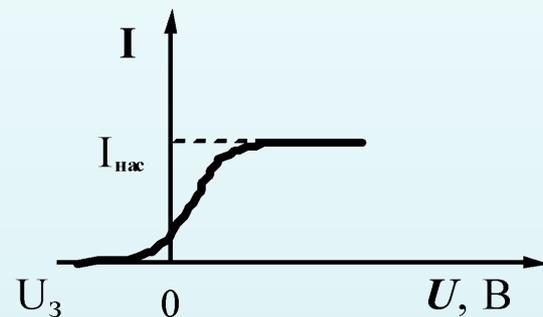
3. Т.е первоначальной энергии недостаточно, чтобы начался процесс выбивания электронов

$$E = 1,98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} < A_{\text{вых}} = 3,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Ответ: 2

ЗАДАЧА 7

На рисунке представлен график зависимости силы фототока в фотоэлементе от приложенного к нему напряжения. Если начать увеличивать частоту падающего на катод света (при одинаковой интенсивности света). На каком из приведенных ниже графиков правильно показано изменение графика? (первоначальное состояние – пунктирная линия)



Уровень А (повышенный)

Решение. Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта через задерживающее напряжение :

$$E = A_{\text{вых}} + eU_3$$

Выразим задерживающее напряжение

$$eU_3 = h\nu - A_{\text{вых}}$$

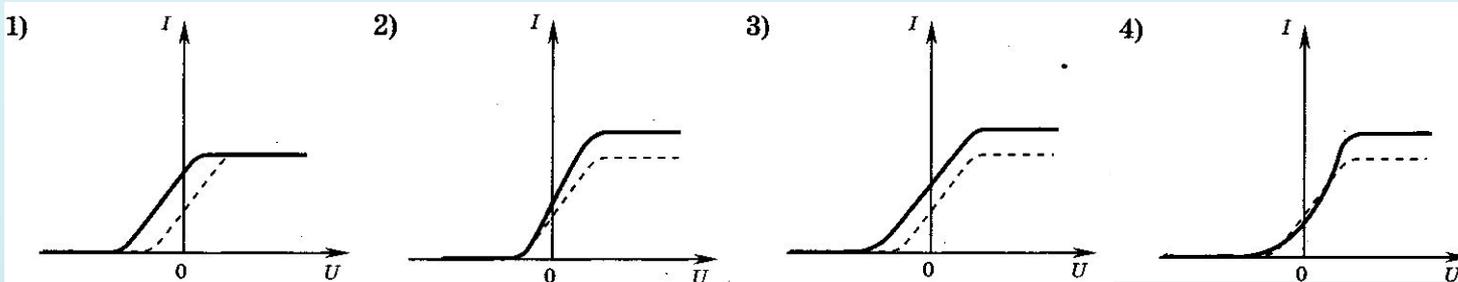
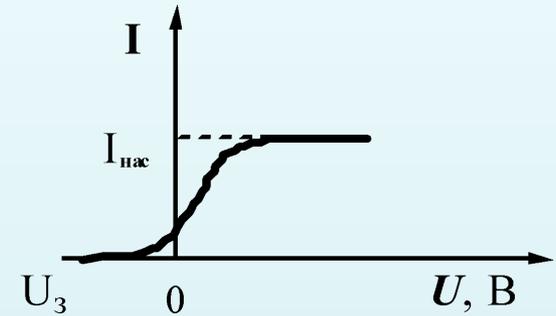
При увеличении частоты запирающее напряжение уменьшается, нижняя часть графика будет сдвигаться влево.

Ответ: 1

2 способ решения: Интенсивность падающего света определяется отношением суммарной энергии падающих фотонов к интервалу времени и площади поверхности, на которую они падают. С ростом частоты постоянная интенсивность излучения означает уменьшение числа фотонов. Т.е с увеличением частоты падает ток насыщения. Следовательно, уменьшается значение запирающего напряжения.

ЗАДАЧА 8

На рисунке представлен график зависимости силы фототока в фотоэлементе от приложенного к нему напряжения. В случае увеличения интенсивности падающего света той же частоты график изменится. На каком из приведенных ниже графиков правильно показано изменение графика?



Решение. Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта через задерживающее напряжение :

$$h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3$$

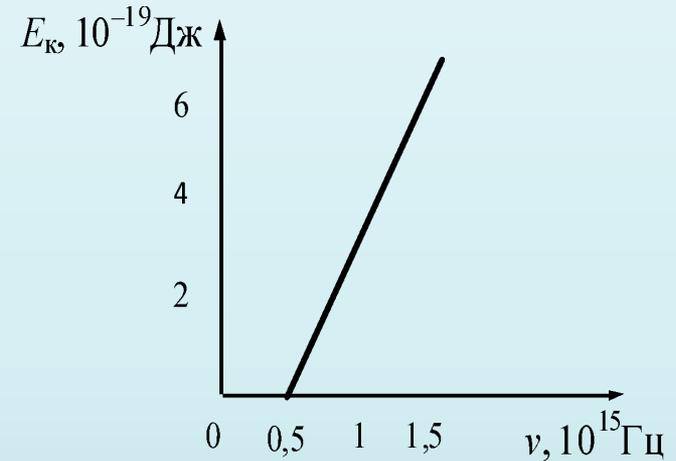
так как задерживающее напряжение не меняется , а увеличение интенсивности приводит к увеличению числа электронов, то, значение не изменяется , то график будет сдвигаться вверх.

Ответ: 2

ЗАДАЧА 9

Слой оксида кальция облучается светом и испускает электроны. На рисунке показан график изменения максимальной энергии фотоэлектронов в зависимости от частоты падающего света. Какова работа выхода фотоэлектронов из оксида кальция?

1. 0,7 эВ
2. 1,4 эВ
3. 2,1 эВ
4. 2,8 эВ



Уровень А (повышенный)

Решение. По графику определим численное значение $\nu_{\text{кр}} = 0,5 \cdot 10^{15}$

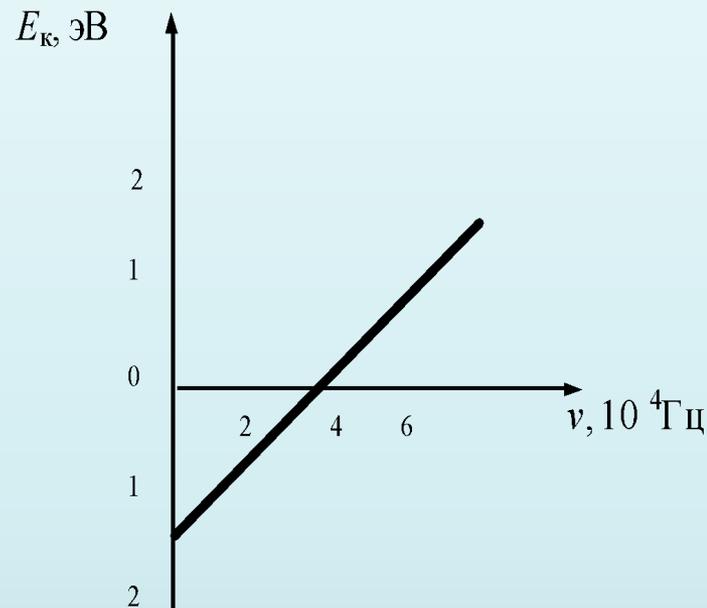
По формуле для работы выхода $A = h \nu_{\text{кр}}$

Переводим Дж в эВ

ЗАДАЧА 10

На рисунке представлен график зависимости максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от частоты фотонов, падающих на поверхность катода. Какова работа выхода электрона с поверхности катода?

- 1) 1эВ
- 2) 1,5 эВ
- 3) 2эВ
- 4) 3,5 эВ



Уровень А (повышенный)

Решение. По уравнению Эйнштейна для фотоэффекта $h\nu = A_{вых} + E_{кин}$

По графику находим, что при частоте равной 0, $A_{вых} = -E_{кин}, E_{кин} = -1,5\text{эВ}$

$$A_{вых} = -(-1,5\text{эВ}) = 1,5\text{эВ}$$

ЗАДАЧА 13

К каждому элементу первого столбца подберите соответствующий элемент из второго и внесите в строку ответов выбранные цифры под соответствующими буквами

Физическое явление

А. Явление вырывания электронов из вещества под действие света

Б. Явление вырывания электронов из вещества, при котором электроны остаются внутри него

Название явления

1) Внутренний фотоэффект

2) Внешний фотоэффект

А	Б
2	1

ЗАДАЧА 11

Металлическую пластину освещали монохроматическим светом с длиной волны $\lambda=500\text{нм}$ одинаковой интенсивности. Что происходит с частотой падающего света, импульсом фотонов и кинетической энергией вылетающих электронов при освещении этой пластины монохроматическим светом с длиной волны $\lambda=700\text{нм}$?

К каждому элементу первого столбца подберите соответствующий элемент из второго и внесите строку ответов выбранные цифры под соответствующими буквами.

Физические величины

А. частота падающего света

Б. импульс фотонов

В. кинетическая энергия вылетающих электронов

Характер изменений

1) увеличится

2) уменьшится

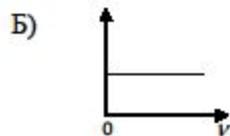
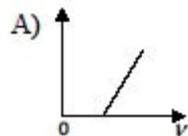
3) не изменится

А	Б	В
2	2	2

ЗАДАЧА 12

Металлический катод освещается монохроматическим светом. Графики А и Б представляют изменение физических величин, характеризующих наблюдаемое явление фотоэффекта. Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимость которых от частоты падающего света эти графики могут представлять.

ГРАФИКИ



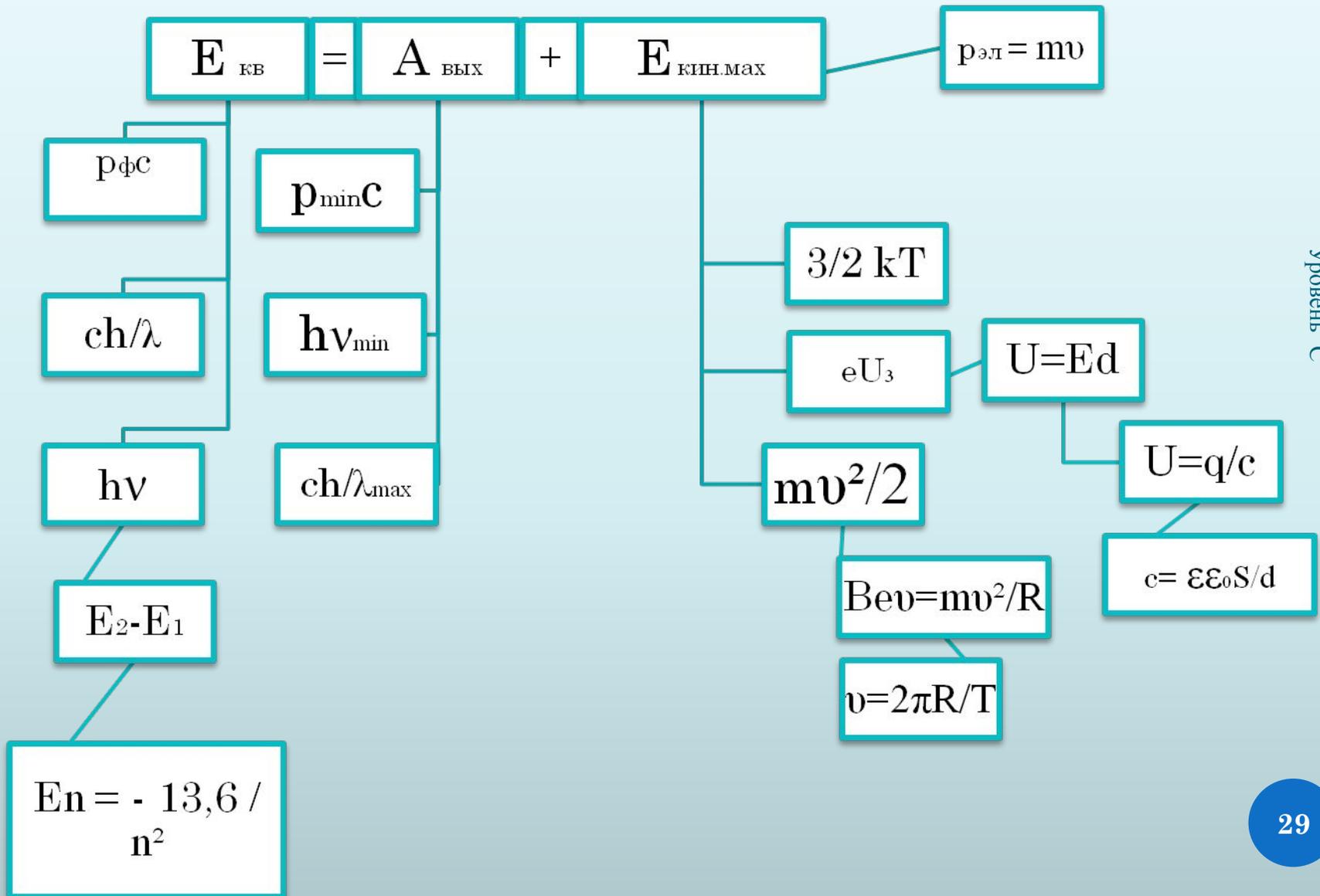
ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) задерживающее напряжение
- 2) максимальная начальная скорость фотоэлектронов
- 3) работа выхода электрона из металла

А	Б
1	3

**РЕШЕНИЕ
РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ,
ИСПОЛЬЗУЯ
КВАНТОВОЕ ДЕРЕВО**

КВАНТОВОЕ ДЕРЕВО



ЗАДАЧА 13

Фотокатод освещается монохроматическим светом, энергия которого равна 4эВ. Чему равна работа выхода материала катода, если задерживающее напряжение равно 1,5 эВ?

Решение. Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта, по основной ветви

$$h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}}$$

Выразим работу выхода $A_{\text{вых}} = E_{\text{кв}} - eU_3$

Вычислим: $A_{\text{вых}} = 4\text{эВ} - 1,5\text{эВ} = 2,5\text{эВ}$

ЗАДАЧА 14

Фотоны, имеющие энергию 5 эВ, выбивают электроны с поверхности металла. Работа выхода электронов из металла равна 4,7 эВ. Какой импульс приобретает электрон при вылете с поверхности металла?

Решение. Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта,

$$h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}}$$

кинетическая энергия фотоэлектронов равна,

$$E_{\text{кин}} = h\nu - A_{\text{вых}}$$

импульс равен $p = m\nu$

$$E_{\text{кин}} = \frac{m\nu^2}{2} = \frac{m^2\nu^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}$$

Следовательно, решая совместно уравнения получим:

$$p = \sqrt{2mE_{\text{кин}}} = \sqrt{2m(h\nu - A_{\text{вых}})}$$

$$p \approx 2,5 \cdot 10^{-25} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

ЗАДАЧА 15

При облучении металла светом с длиной волны 245 нм наблюдается фотоэффект. Работа выхода электрона из металла равна 2,4 эВ. Рассчитайте величину напряжения, которое нужно приложить к металлу, чтобы уменьшить максимальную скорость вылетающих фотоэлектронов в 2 раза.

Решение.

1. Запишем уравнение

Эйнштейна для фотоэффекта:

$$E = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}}$$

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + \frac{mv_1^2}{2}$$

2. Формулу для расчета работы электрического поля при описании движения фотоэлектрона:

$$A = eU_3$$

3. Решим систему двух уравнений:

$$\begin{cases} \frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + \frac{mv_1^2}{2} \\ \frac{hc}{\lambda} = qU_3 + \frac{mv_2^2}{2} \end{cases}$$

Где v_1 – скорость движения электронов после вырывания с поверхности металла, v_2 – скорость движения электронов под влиянием электрического поля.

4. Решая совместно уравнения, получим:

$$U_3 = \frac{3}{4q} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} \right)$$

Ответ : $U_3 = 2 \text{ В.}$

ЗАДАЧА 16

Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода $4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом с длиной волны 300 нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией $8,3 \cdot 10^{-4}$ Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Каков максимальный радиус окружности, по которой движутся электроны?

Решение.

1. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

2. Уравнение, связывающее на основе второго закона Ньютона силу Лоренца, действующую на электрон, с величиной центростремительного ускорения:
$$evB = \frac{mv^2}{R}$$

3. Решая систему уравнений
$$R = \frac{\sqrt{2m\left(h\frac{c}{\lambda} - A\right)}}{eB}$$

Ответ : $R \approx 4,7 \cdot 10^{-3}$

м.