



# Фотэффект

Урок физики в 11 классе

# Физика – наука о природе



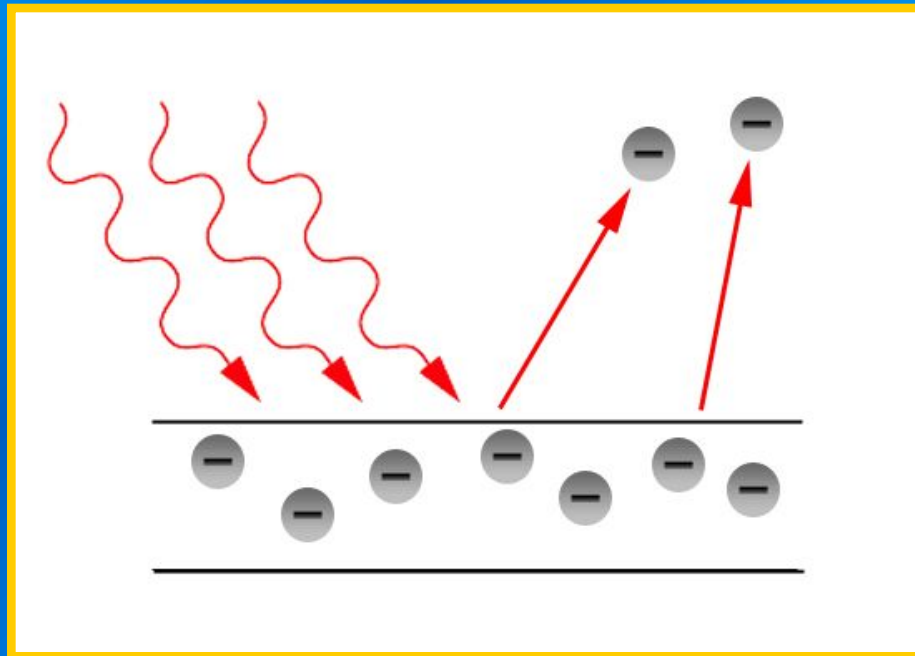
Не то, что мните вы, природа:  
Не слепок, не бездушен лик, -  
В ней есть душа, в ней есть  
свобода.

В ней есть любовь, в ней есть  
язык.

(Ф.И.Тютчев)

**Энергией»  $h\nu$ » снабжен,  
Летит к нам квант, то  
бишь фотон.**

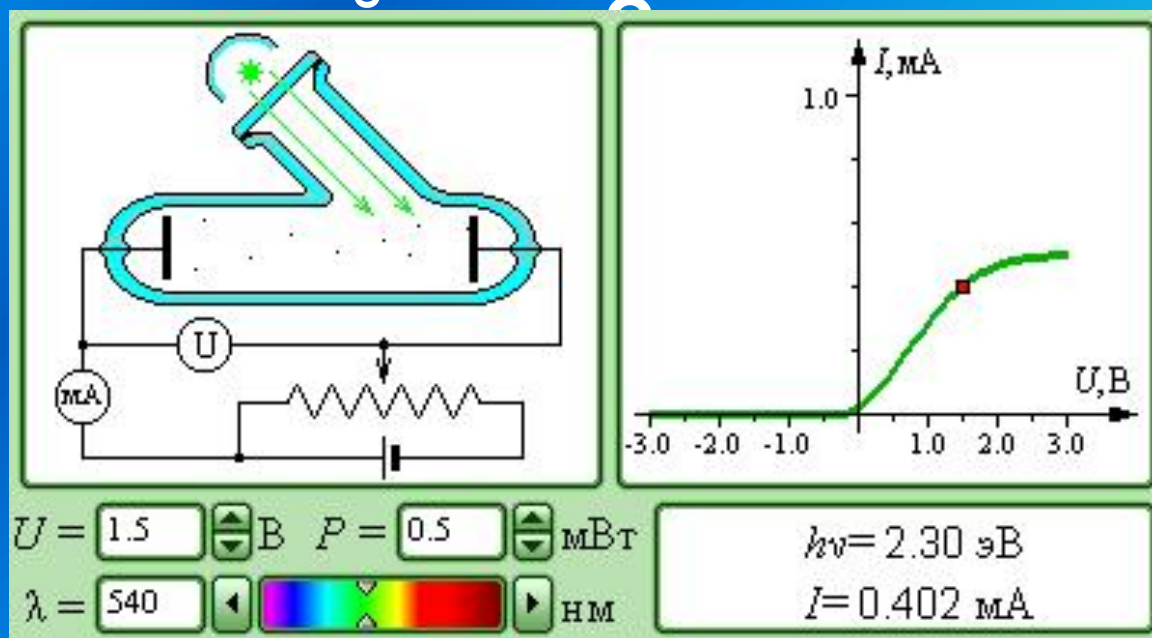
**Его хватает электрон,  
И ... до свидания, дом  
родной!**



# Открытие – исследование – объяснение.

О каком событии идет речь? С  
именами каких ученых можно связать

- 1887 г.
- 1890 г.
- 1905 г.



1887 год.



Генрих Герц  
открыл  
явление  
фотоэффекта



# 1890 год

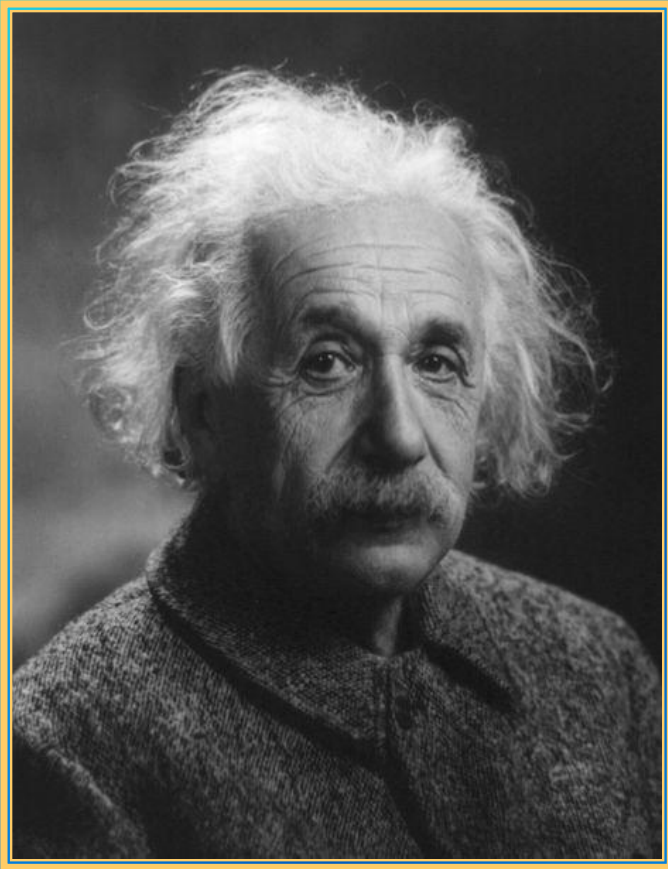


Александр  
Григорьевич  
Столетов  
установил  
количественные  
закономерности  
фотоэффекта.





# 1905 год



Альберт Эйнштейн  
обосновал  
квантовую природу  
фотоэффекта и все  
его закономерности

$$E = h\nu = A + mv^2/2$$

2. Что называют фотоэлектрическим эффектом?
3. В чем состоит экспериментальное исследование, проведенное А.Г. Столетовым? (опыт Столетова А.Г. – <http://alexson.Km.ru>)
4. Сформулируйте законы внешнего фотоэффекта.
5. Ответьте на вопросы по статье А.Г. Столетова «Актино-электрические исследования»
6. Сравните установку А.Г.Столетова с установкой, изображенной в учебнике. Назовите их принципиальное сходство и различие.





7. Найдите, какие именно ( по номерам) из перечисленных

А.Г.Столетовым результатов опыта превратились в известные нам законы фотоэффекта.

а) фотоэффект безынерционен ( 7. Разряжающее действие лучей обнаруживается даже при весьма кратковременном освещении, причем между моментом освещения и моментом соответственно разряда не протекает заметного времени.);

б) сила тока прямо пропорциональна энергии световой волны (8. Разряжающее действие... пропорционально энергии лучей, падающих на разряжаемую поверхность.);

в) существует «красная граница фотоэффекта» (4. Разряжающим действием обладают... если не исключительно, то с громадным превосходством перед прочими, лучи самой преломляемости, недостающие в солнечном спектре (  $295 \cdot 10^{-9}$  м). Чем спектр обильнее такими лучами, тем сильнее действие.

8. Какой из законов не мог быть установлен А.Г. Столетовым. Почему?
9. Найдите ошибку в следующем утверждении: « Чем больше освещенность, тем большая энергия передается отдельным электронам вещества. Чем большая энергия передается электронам, тем больше должна быть при вылете их кинетическая энергия. Это значит, что кинетическая энергия электронов должна зависеть от интенсивности света».
10. Какое напряжение называется задерживающим?
11. На что расходуется энергия фотонов при фотоэффекте?
12. В чем сущность гипотезы Эйнштейна в теории фотоэффекта?
13. Что такое фотон?
14. Что такое красная граница фотоэффекта?

# Никогда не знаешь, что может пригодиться тебе в жизни!

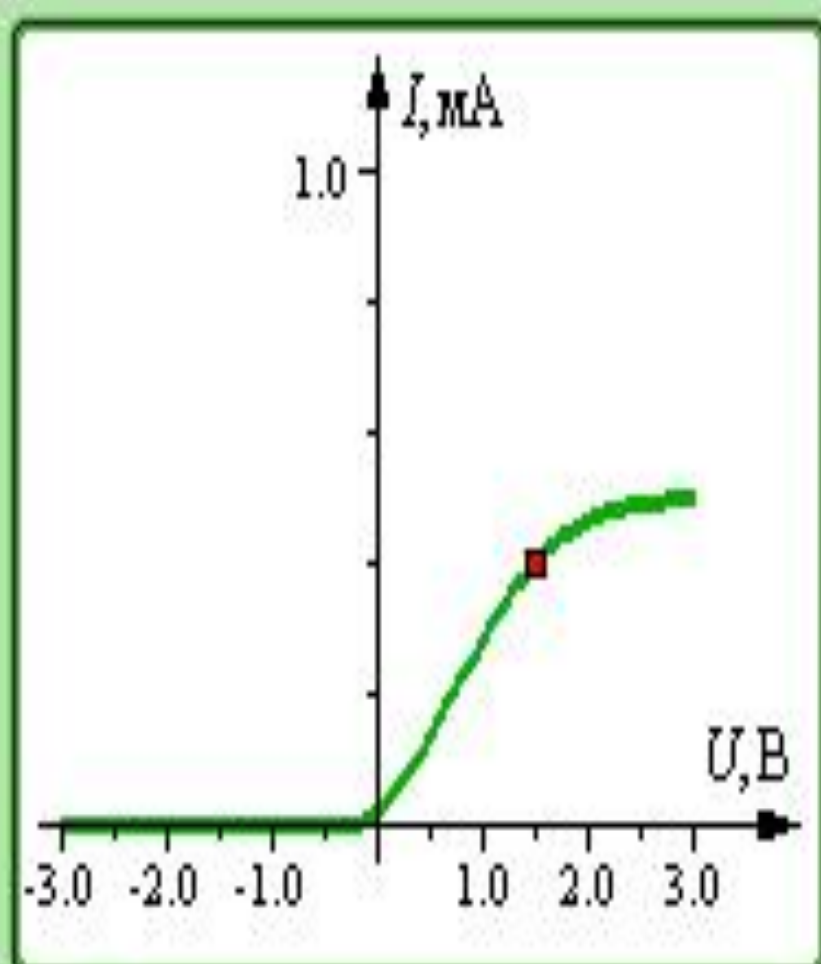
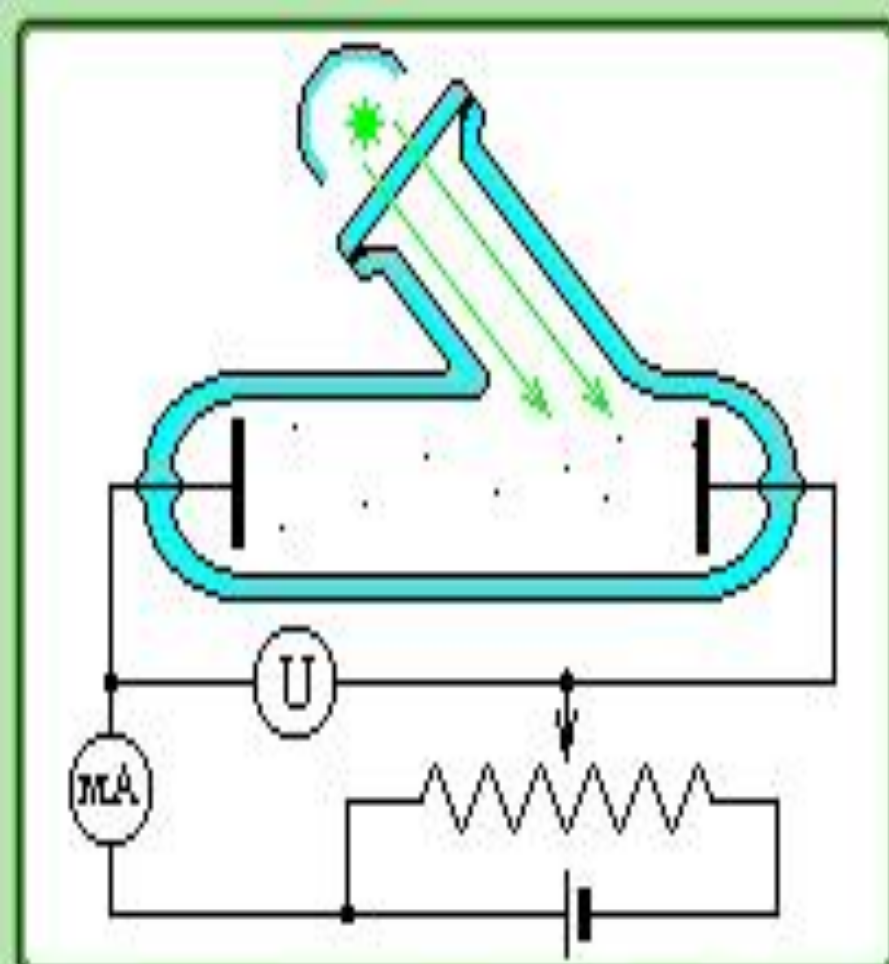


«Дверь имела хитроумное устройство: при попытке постороннего ее открыть, ультрафиолетовая лампа с длиной волны 0,1 мкм освещала вольфрамовую пластинку фотоэлемента. Вырванные электроны замыкали электрическую цепь, которая открывала шлюз. В коридор устремлялась вода, кишущая пиявками, крокодилами, пираньями и акулами. Джеймс Бонд, агент 007, вдруг вспомнил, что в детстве мама говорила ему: - Запомни, сынок, работа выхода электронов из вольфрама 4,5 эВ!

- Зачем это мне, мама? – Удивлялся маленький Джеймсик.
- Никогда не знаешь, что может пригодиться тебе в жизни, - отвечала мама.

Тогда он быстро произвел вычисления и подключил к фотоэлементу источник постоянного тока, дающий на его зажимах запирающее напряжение в 7,95 В, потянул за ручку двери и ...»





$U = 1.5$  B  $P = 0.5$  mBТ

$\lambda = 540$  nm

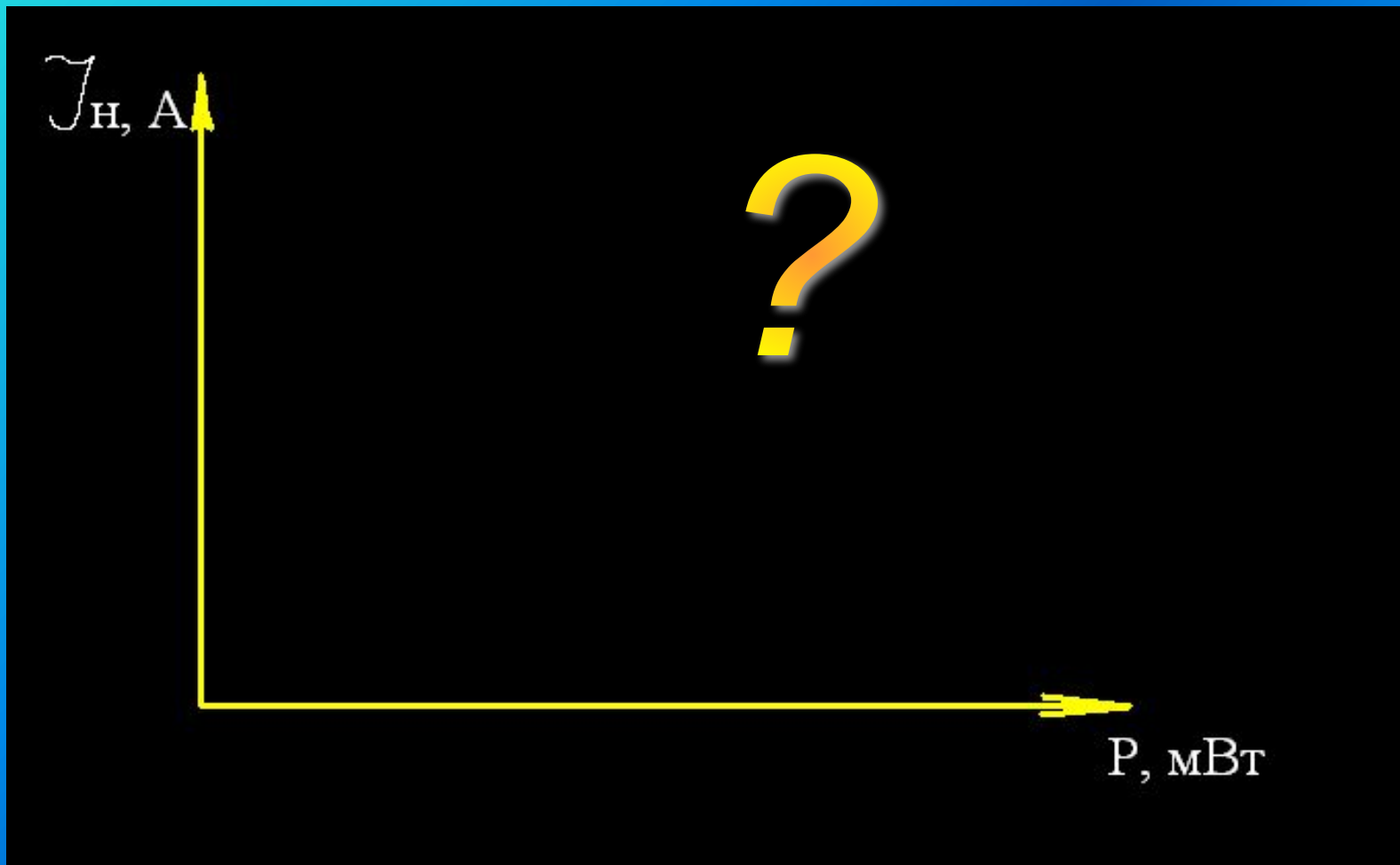
$$h\nu = 2.30 \text{ эВ}$$

$$I = 0.402 \text{ mA}$$

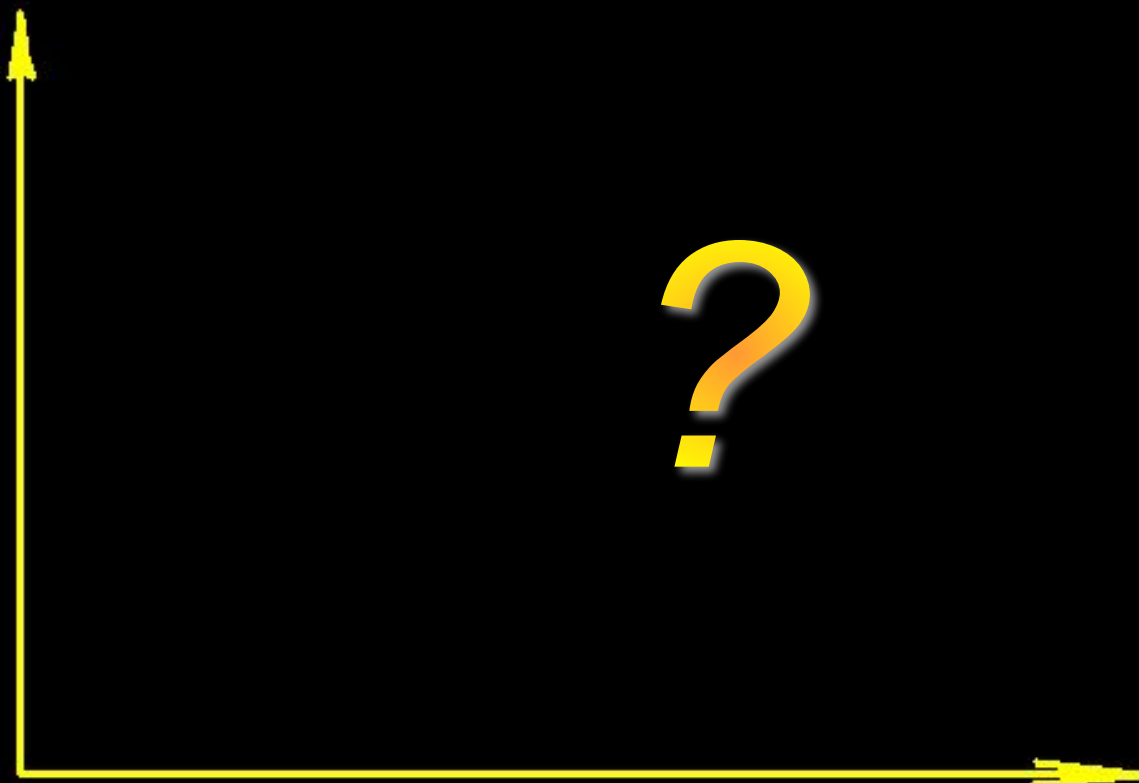
$T_H, A$

?

$P, MBT$



$W_K, \text{эВ}$



$h\nu, \text{эВ}$



# Алгоритм применения уравнения Эйнштейна для фотоэффекта к решению задач

1. Фотоэффект описывается уравнением Эйнштейна:

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + \frac{m\nu^2}{2}, \quad \text{в котором}$$

$$\varepsilon_{\gamma} = h\nu \quad \text{- энергия светового кванта (фотона),}$$

$$A_{\text{ВЫХ}} \quad \text{- работа выхода электрона из металла,}$$

$$W_k = \frac{m\nu^2}{2} \quad \text{- кинетическая энергия фотоэлектрона.}$$

## 2. Нахождение энергии фотона.

2.1. Если в задаче приводится значение длины волны, используйте формулу связи длины волны и скорости её распространения с частотой

$$c = \lambda \cdot \nu$$

2.2. Энергию одного фотона можно найти, зная энергию излучения:

$$\varepsilon_{\gamma} = \frac{\Delta E_{\text{ср}}}{N}$$

где  $N$  – число фотонов.

Энергия излучения связана с интенсивностью излучения (поверхностной плотностью потока излучения) соотношением

$$I = \frac{\Delta E_{\text{ср}}}{\Delta t \cdot S} = \frac{P_{\text{ср}}}{S}.$$

2.3. Энергия фотона связана с собственными характеристиками фотона как световой частицы.

Формула связи импульса и энергии фотона:

$$p_{\gamma} = \frac{\varepsilon_{\gamma}}{c}.$$

### 3. Нахождение работы выхода электрона из металла.

Значение работы выхода электрона может быть определено:

3.1. с помощью справочной таблицы «Работа выхода электрона из металла», если известен металл и нет усложняющих нахождение работы выхода величин.

3.2. через значение красной границы фотоэффекта для данного металла в данном состоянии

$$A_{\text{ВЫХ}} = h\nu_{\text{min}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{max}}}$$

## 4. Поведение фотоэлектрона после вылета из металла может быть описано из следующих соображений:

4.1. В задерживающем однородном электрическом поле, согласно теореме о кинетической энергии, изменение кинетической энергии фотоэлектрона равно работе сил поля

$$W_{k2} - W_{k1} = e \cdot U_3, \text{ т. е. } \frac{mv^2}{2} = |e| \cdot U_3$$

(См. Физика – 10 под ред. Пинского, § 43).

4.2. Следует помнить, что движение фотоэлектронов вдоль силовых линий однородного электрического поля – движение с постоянным ускорением

$$a = \frac{F_{\text{эл}}}{m} = \frac{|e| \cdot E}{m} = \frac{|e| \cdot U_3}{m \cdot d}$$

Поэтому, в зависимости от постановки вопроса задачи, следует применять либо формулы электростатики (например, формулу связи напряжённости и напряжения однородного электрического поля

$$E = \frac{U}{d}$$

для расчёта расстояния  $d$ , пройденного электроном до остановки в задерживающем поле), либо формулы кинематики равноускоренного движения, позволяющие рассчитать перемещение  $d$  и скорость  $U$

фотоэлектрона в определённый момент времени ( $d = v_{0x} \cdot t + \frac{a_x \cdot t^2}{2}, v_x = v_{0x} + a_x \cdot t$ ).

4.3. Если фотоэлектроны попадают в однородное магнитное поле, то в зависимости от угла  $\alpha$  между вектором скорости и вектором магнитной индукции они движутся прямолинейно ( $\alpha = 0^\circ$ ,  $\alpha = 180^\circ$ ), по окружности ( $\alpha = 90^\circ$ ) или по спирали ( $90^\circ > \alpha > 0^\circ$ ).

Например, при  $\alpha = 90^\circ$  фотоэлектрон движется под действием

силы Лоренца  $F = |e| \cdot B \cdot v$  с ускорением  $a = \frac{F}{m} = \frac{|e| \cdot B \cdot v}{m}$

по окружности радиуса  $r = \frac{m \cdot v}{|e| \cdot B}$ , при этом период обращения

фотоэлектрона равен  $T = \frac{2\pi \cdot R}{v} = \frac{2\pi \cdot m}{|e| \cdot B}$ . (См. Физика – 10 под ред. Пинского, § 55)

4.4. В скрещенных электрическом и магнитном полях фотоэлектрон может двигаться прямолинейно с постоянной скоростью при условии

$$\vec{F}_{\text{эл}} + \vec{F}_{\text{м}} = 0$$

(См. Физика – 10 под ред. Пинского, § 55)

4.5. Зная максимальную скорость вылета фотоэлектрона, несложно определить импульс электрона, длину волны де Бройля и т. д.

**5. Полезно помнить, что в простейших случаях вычисления можно проводить во внесистемных единицах, принимая значение постоянной Планка**

$$h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}$$