

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

ФОТОЭФФЕКТ

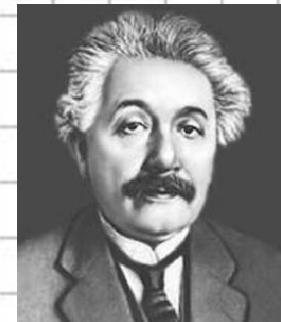
1. ЗАРОЖДЕНИЕ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ



Противоречие электродинамики Максвелла и классической механики



Создание Эйнштейном СТО и ОТО



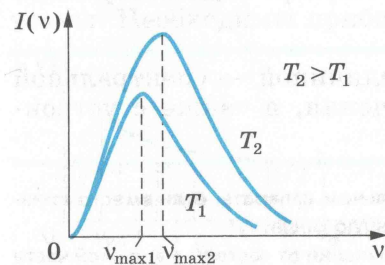
Противоречие электродинамики Максвелла и опытным фактам излучения веществом коротких ЭМВ (начиная с инфракрасного):

Из теории Максвелла



$$I \sim \nu^4$$

Из опытов по излучению

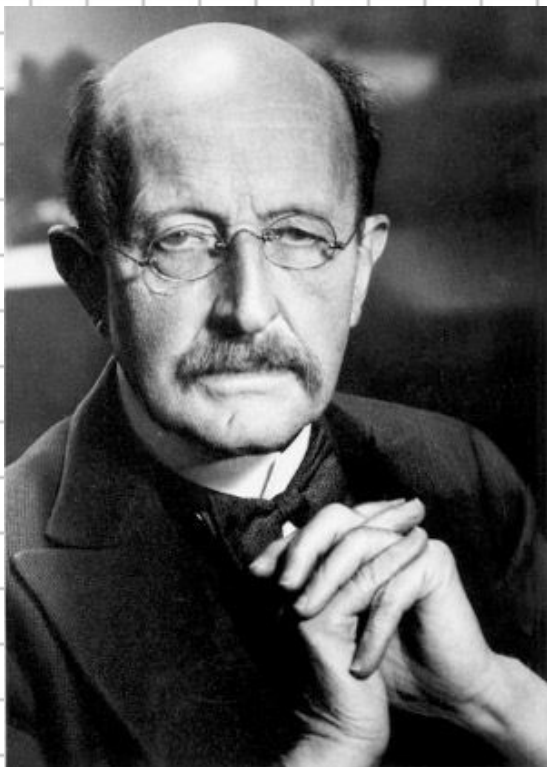


Теория Максвелла: главное условие излучения ЭМВ – ускоренное движение заряда. Нагретое тело должно непрерывно излучать (ионы кристаллической решетки колеблются) и охладиться до абсолютного нуля, чего не происходит на практике



Квантовая физика Макса Планка





Планк Макс (1858—1947) —

великий немецкий физик-теоретик, основатель квантовой теории — современной теории движения, взаимодействия и взаимных превращений микроскопических частиц. В 1900 г. в работе по исследованию теплового излучения предположил, что энергия осциллятора (системы, совершающей гармонические колебания) принимает дискретные значения, пропорциональные частоте колебаний, энергия излучается отдельными порциями. Большой вклад внес в развитие термодинамики.

Гипотеза Планка: атомы испускают электромагнитную энергию не непрерывно, а отдельными порциями

Квант — отдельная порция электромагнитного излучения

$$E = h\nu$$

энергия кванта

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

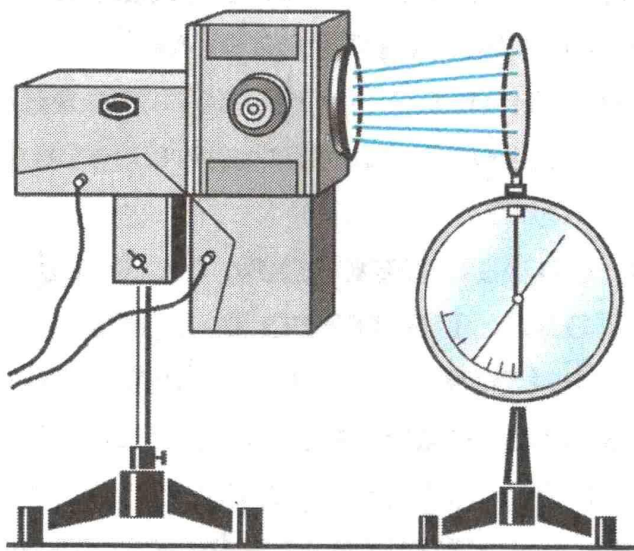
постоянная Планка

Впервые квантовые свойства материи были обнаружены при исследовании излучения и поглощения света

2. НАБЛЮДЕНИЕ ФОТОЭФФЕКТА

Видеоролик «Наблюдение фотоэффекта»

Фотоэффект - явление вырывания электронов из вещества под действием света



Опыт нельзя объяснить на основе волновой теории света: почему волны малой частоты не могут вырвать электроны даже при большой интенсивности освещения?

Вывод: с поверхности цинка электроны вырывает ультрафиолетовый свет, так как его частота больше, а значит и больше энергия каждого кванта

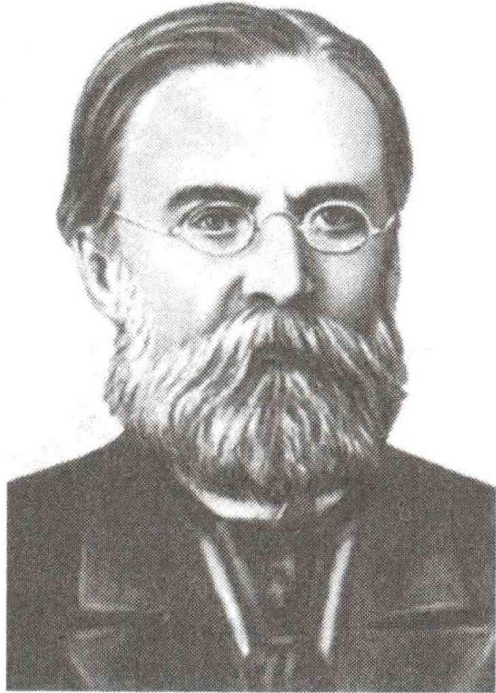
$$E = h\nu$$



Фотоэлектрический эффект был открыт в 1887 году немецким физиком Г. Герцем и в 1888–1890 годах экспериментально исследован А. Г. Столетовым.

Наиболее полное исследование явления фотоэффекта было выполнено Ф. Ленардом в 1900 г. К этому времени уже был открыт электрон (1897 г., Дж. Томсон).

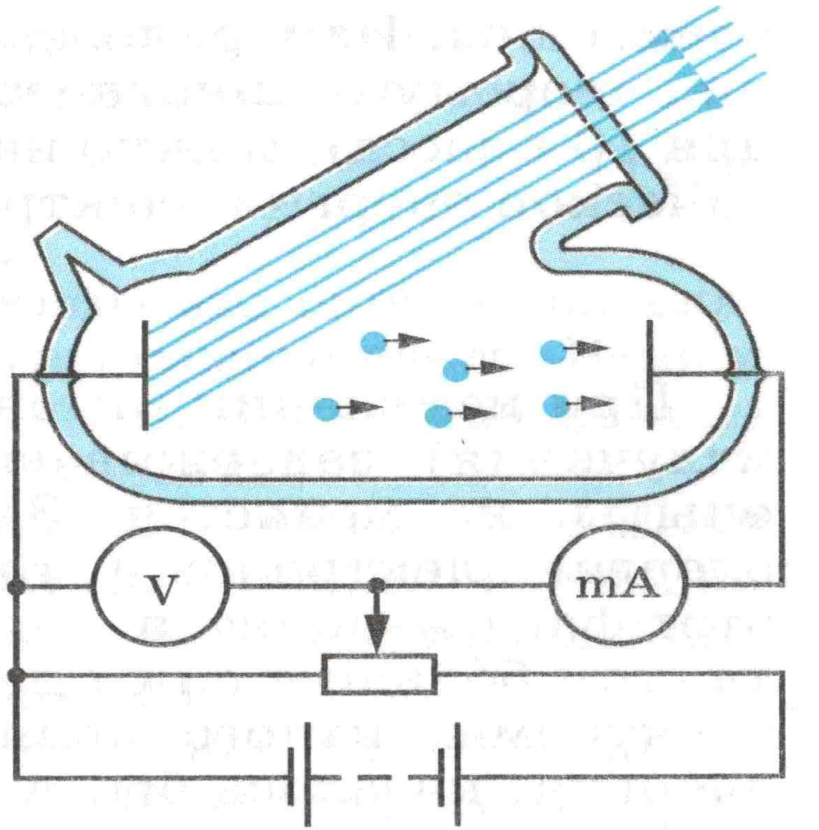
3. ОПЫТЫ СТОЛЕТОВА



Столетов Александр Григорьевич (1839—1896) — русский физик. Исследование фотоэффекта принесло ему мировую известность. Показал также возможность применения фотоэффекта на практике. В докторской диссертации «Исследования о функции намагничения мягкого железа» разработал метод исследования ферромагнетиков и установил вид кривой намагничения. Эта работа широко использовалась на практике при конструировании электрических машин. Был инициатором создания Физического института при Московском университете.

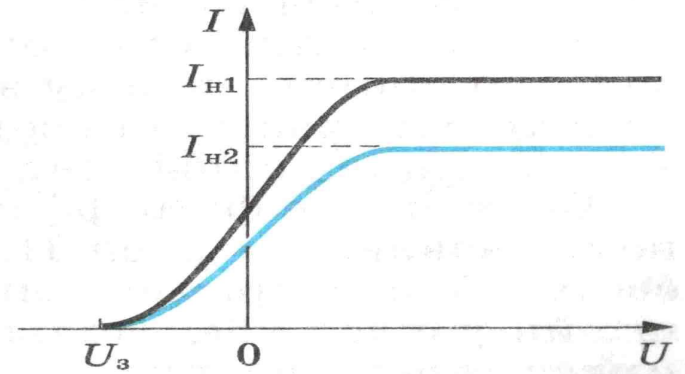
1. От чего зависит число вырванных светом электронов (фотоэлектронов)?
2. Чем определяется скорость (кинетическая энергия) этих фотоэлектронов?

3. ОПЫТЫ СТОЛЕТОВА



Принцип работы установки

1. Без освещения светом катода тока в цепи нет, т.к. нет носителей заряда.
2. При освещении светом катода возникает фототок даже при отсутствии разности потенциалов.
3. При некотором напряжении возникает фототок **насыщения**.

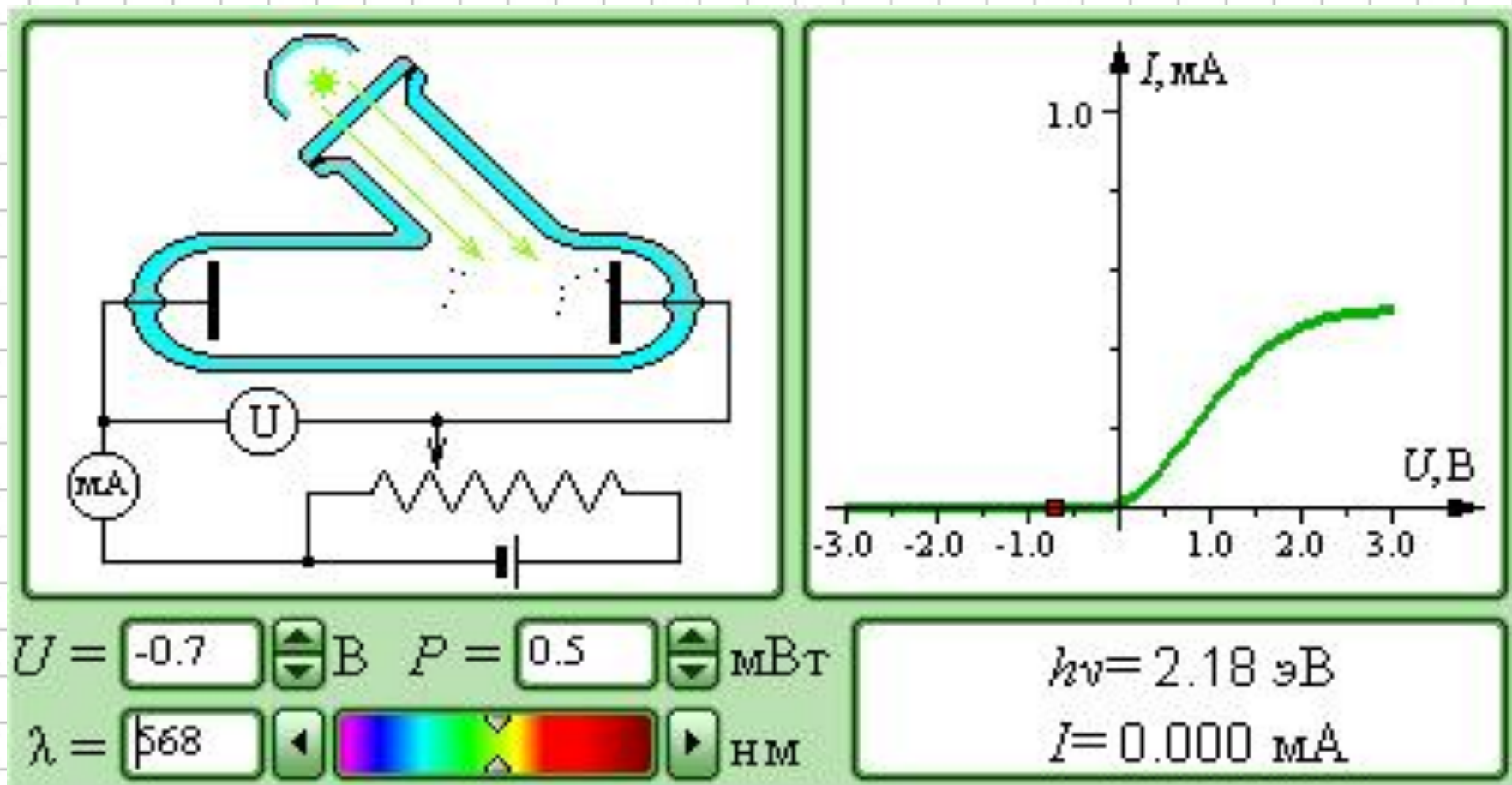


4. При увеличении интенсивности излучения фототок насыщения увеличивается.

Первый закон фотоэффекта: фототок насыщения прямо пропорционален падающему световому потоку

3. ОПЫТЫ СТОЛЕТОВА

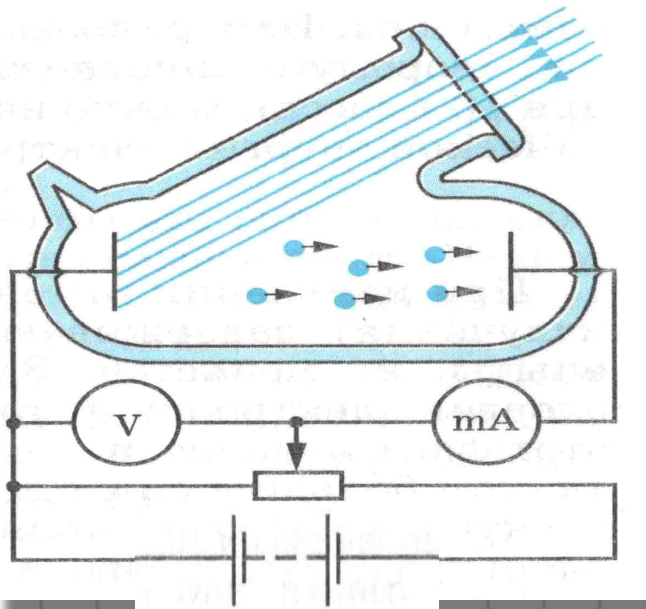
Демонстрация первого закона фотоэффекта с помощью интерактивной модели



Первый закон фотоэффекта: фототок насыщения прямо пропорционален падающему световому потоку

3. ОПЫТЫ СТОЛЕТОВА

Изменим полярность батареи



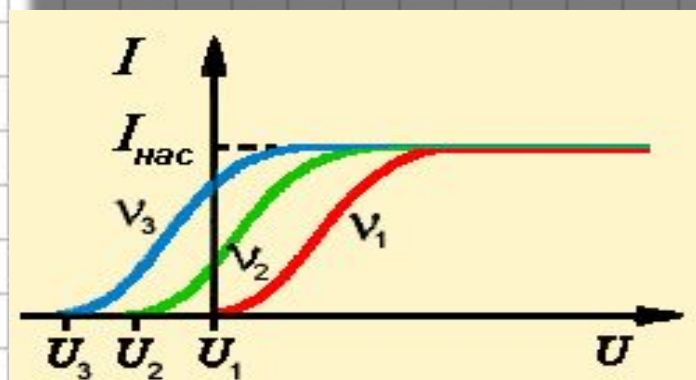
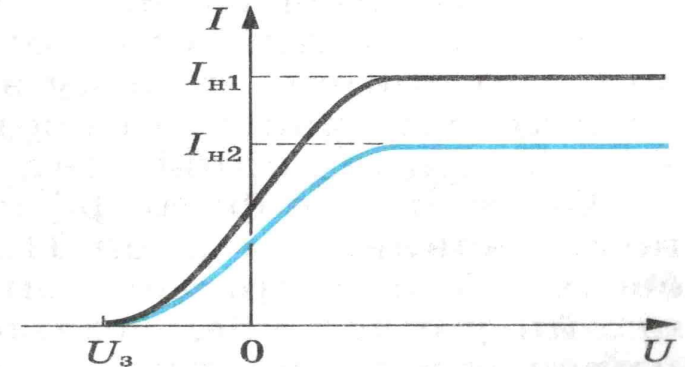
1. При увеличении обратного напряжения сила тока уменьшается.
2. При некотором напряжении (задерживающем) сила тока становится равной нулю.
3. Вывод: электрическое поле тормозит вырванные светом электроны и возвращает их на электрод.

4. По теореме об изменении кинетической энергии

$$A = E_{K2} - E_{K1} \rightarrow \frac{mv^2}{2} = eU_3$$

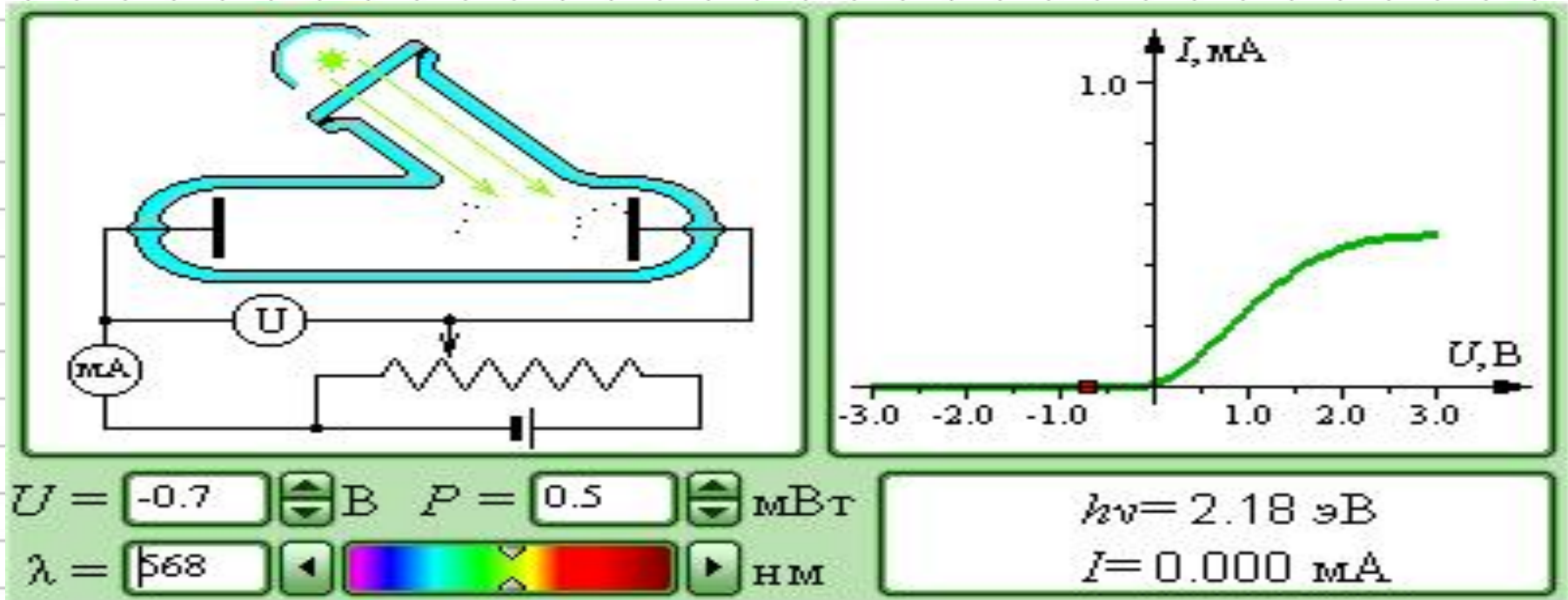
взаимосвязь кинетической энергии фотоэлектронов с задерживающим напряжением

5. При изменении интенсивности света задерживающее напряжение не изменяется.
6. Кинетическая энергия фотоэлектронов зависит только от частоты света.



3. ОПЫТЫ СТОЛЕТОВА

Демонстрация второго закона фотоэффекта с помощью интерактивной модели



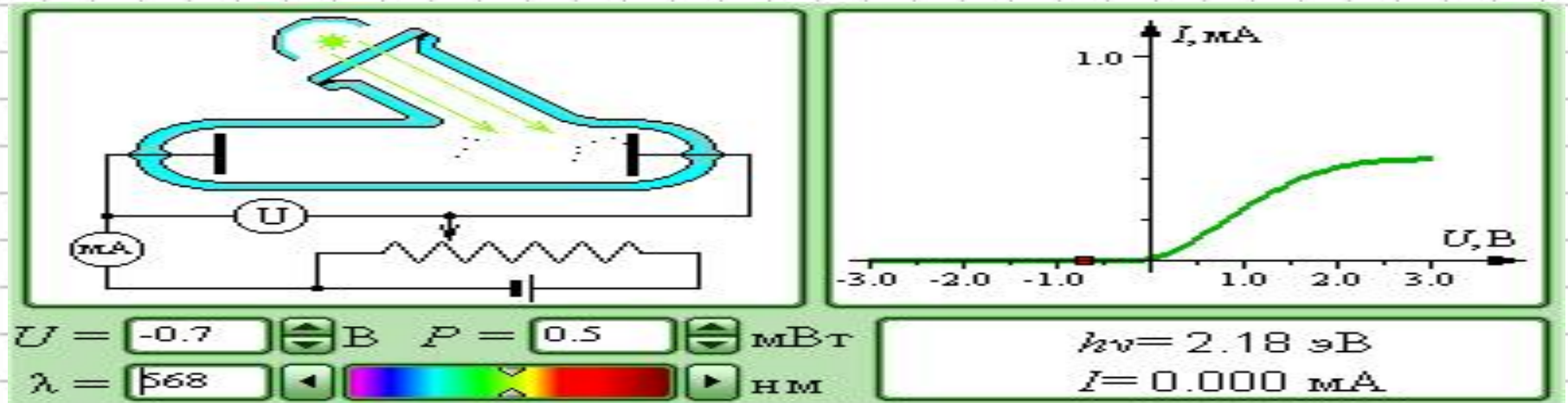
Второй закон фотоэффекта:
максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов прямо пропорциональна частоте света и не зависит от его интенсивности

3. ОПЫТЫ СТОЛЕТОВА

Фотоэффект не происходит при определенной минимальной частоте для данного вещества.

Третий закон фотоэффекта: для каждого вещества существует минимальная частота света (максимальная длина волны), ниже которой фотоэффект невозможен

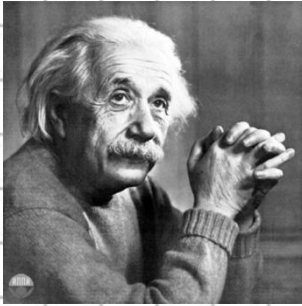
Демонстрация третьего закона фотоэффекта с помощью интерактивной модели



Красная граница фотоэффекта – предельная частота ν_{min} , ниже которой фотоэффект не наблюдается.

4. ТЕОРИЯ ФОТОЭФФЕКТА

В 1905 году Эйнштейн объяснил фотоэффект на основе квантовой гипотезы Планка: излученная порция световой энергии $E = h\nu$ поглощается целиком.



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

Формула Эйнштейна для фотоэффекта

Работа выхода – минимальная энергия, которую надо сообщить электрону, чтобы он покинул металл

Физический смысл уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

энергия кванта света расходуется на работу по вырыванию электрона из металла и на сообщение ему кинетической энергии

4. ТЕОРИЯ ФОТОЭФФЕКТА

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

Если $h\nu > A_{\text{В}}$, то фотоэффект наблюдается

Если $h\nu < A_{\text{В}}$, то фотоэффекта нет

$$\text{Красная граница фотоэффекта: } \nu_{\min} = \frac{A_{\text{В}}}{h}$$

$$\text{Красная граница фотоэффекта: } \lambda_{\max} = \frac{hc}{A_{\text{В}}}$$

[Видеоролик «Красная граница фотоэффекта»](#)

4. ТЕОРИЯ ФОТОЭФФЕКТА

$$\text{Красная граница фотоэффекта: } \nu_{min} = \frac{A_B}{h}$$

Работа выходов электронов

<i>Вещество</i>		<i>эВ</i>
Цезий	Cs	1,89
Калий	K	2,15
Барий	Ba	2,29
Литий	Li	2,39
Цинк	Zn	3,74
Титан	Ti	3,92
Серебро	Ag	4,30
Медь	Cu	4,46
Вольфрам	W	4,50
Золото	Au	4,58
Платина	Pt	5,30

$$\frac{mv^2}{2} = eU_3$$

$$h\nu = A_B + \frac{mv^2}{2}$$



$$h\nu = A_B + eU_3$$

$$A_E = qU = eU_3$$

Единица измерения
работы:

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

5. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1.

Работа выхода для цинка 3,74 эВ.
Переведите в джоули.

Задача 2.

Определите красную границу фотоэффекта для цинка через частоту и длину волны падающего света.

Задача 3.

Используя данные таблицы «Работа выхода электронов» и опытов с цинковой пластиной, проанализируйте наблюдение фотоэффекта для разных металлов при освещении их светом разного цвета.