

Квантовая природа излучения

Вопросы:

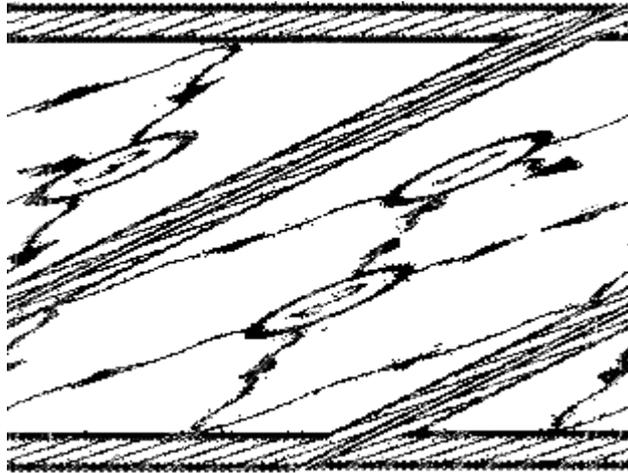
**1. Законы теплового
излучения**

**2. Внешний
фотоэффект**

3. Эффект Комптона

1. Законы теплового излучения

Тепловое излучение – это электромагнитное излучение, испускаемое веществом и возникающее за счет энергии теплового движения атомов и молекул (т.е. внутренней энергии).



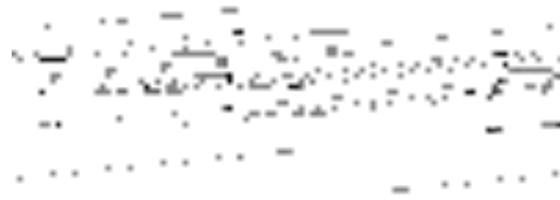
Излучая и поглощая электромагнитную энергию в адиабатически изолированной полости, тела и электромагнитное поле приходят в равновесие при определенной ТЕМПЕРАТУРЕ.

Образуется **РАВНОВЕСНОЕ ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ** в полости

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ:

--спектральная испускательная способностью тела - энергия, излучаемая единицей поверхности нагретого тела в единицу времени в узком диапазоне частот.

Суммарный поток энергии излучения с единицы поверхности тела по всему диапазону частот

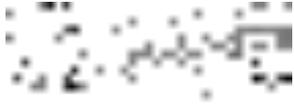


называется **интегральной испускательной способностью** тела или его **энергетической светимостью**

Испускательную способность тела можно представить и как функцию длины волны излучения, которая связана с частотой через скорость света в вакууме по формуле

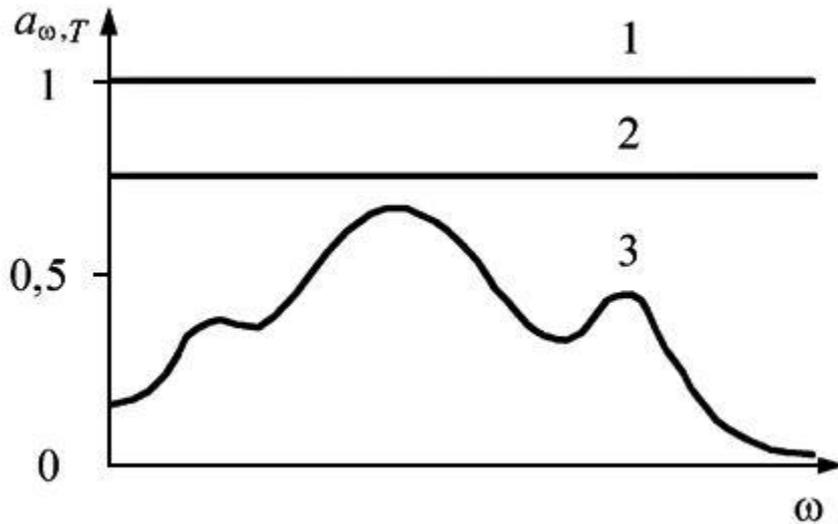


ПОГЛОЩЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

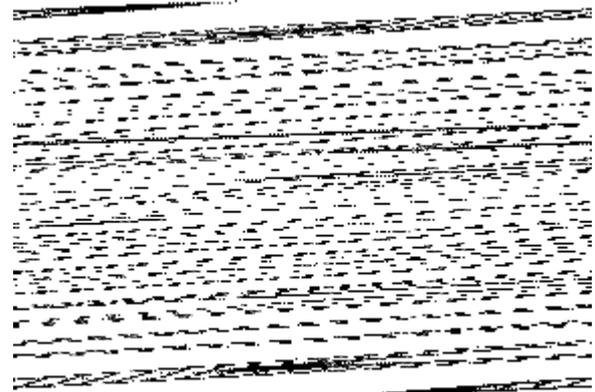


--спектральная поглощательная способность тела -

характеризует долю падающего на тело потока излучения частоты ω , поглощенную телом.



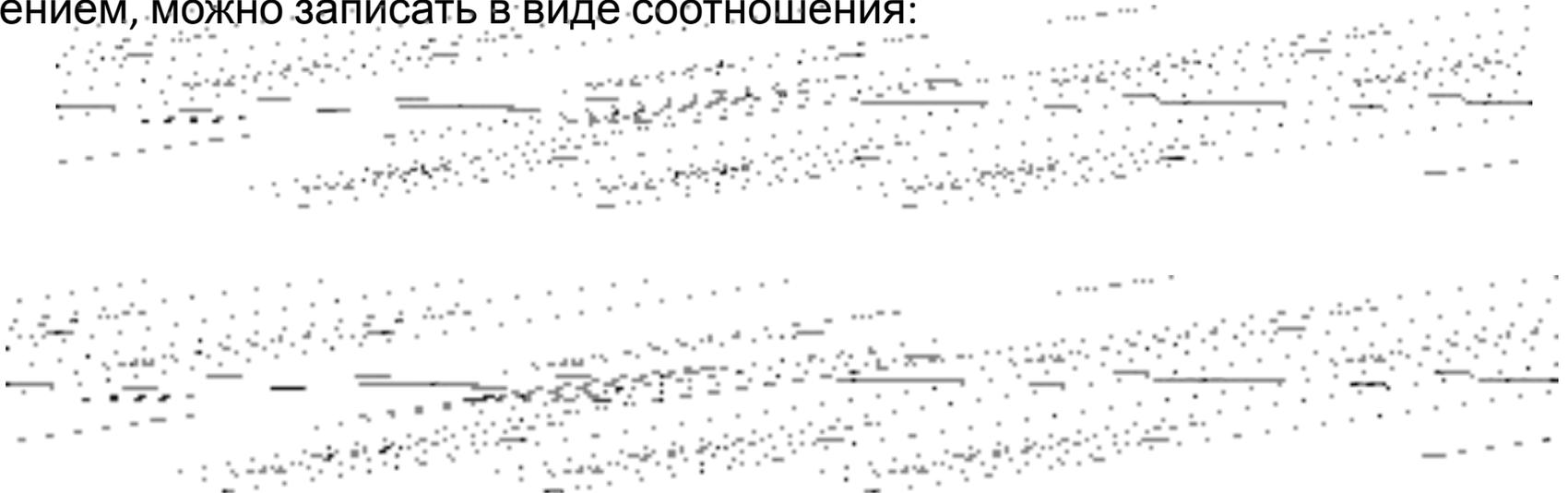
1 - абсолютно черное тело; 2 - серое тело; 3 - реальное тело



Закон Кирхгофа. Между испускательными и поглощательными свойствами любого тела должна существовать связь. Равновесие в системе может установиться только в том случае, если каждое тело будет излучать в единицу времени столько же энергии, сколько оно поглощает. Это означает, что тела, интенсивнее поглощающие излучение какой-либо частоты, будут это излучение интенсивнее и испускать.

В равновесном тепловом излучении отношение испускательной и поглощательной способностей одинаково для всех тел в природе, включая абсолютно черное тело, и при данной температуре является одной и той же универсальной функцией частоты (длины волны).

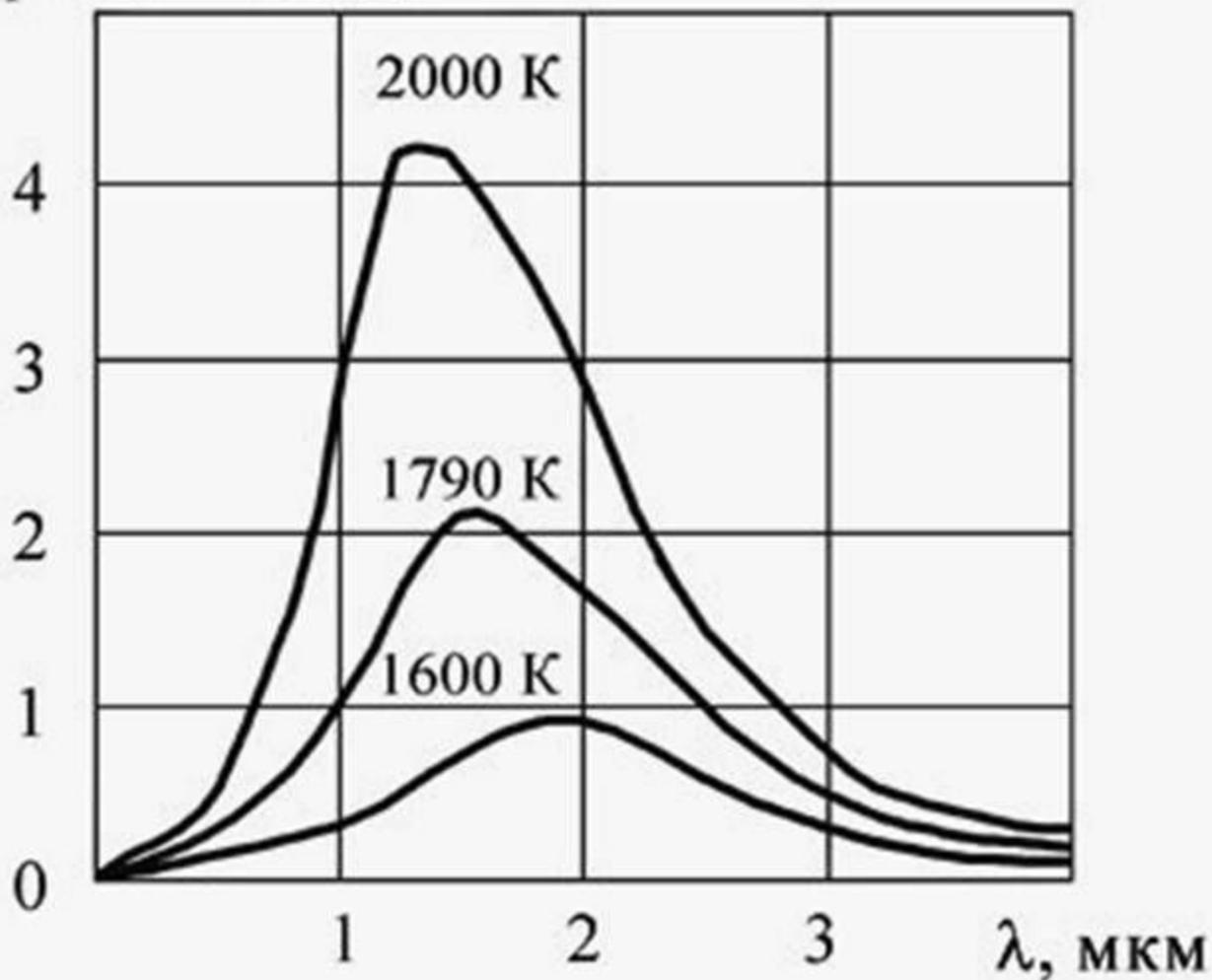
Этот закон теплового излучения, установленный в 1859 г. Г.Кирхгофом при рассмотрении термодинамических закономерностей равновесных систем с излучением, можно записать в виде соотношения:



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

1. Исследуя распределение энергии равновесного теплового излучения по спектру (С.Ленгли, Э.Прингсгейм, О.Люммер, Ф.Курлбаум и др.), экспериментально определили **спектральные испускательные способности абсолютно черного тела в зависимости от длины волны.**
2. Закон Стефана-Больцмана. Экспериментальные (1879 г. Й.Стефан) и теоретические (1884 г. Л.Больцман) исследования позволили доказать важный закон теплового излучения абсолютно черного тела. Этот закон утверждает, что **энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры.**
3. В.Вин (1893 г) сформулировал закон теплового излучения, согласно которому **длина волны**, на которую приходится **максимум испускательной способности** абсолютно черного тела, **обратно пропорциональна его абсолютной температуре.**

$r_{\lambda, T}^* \times 10^{-11} \text{ Вт/м}^3$



Спектральная излучательная способность абсолютно
черного тела

закон Стефана — Больцмана:

$$R = \frac{\pi^2 k^4}{60c^2 \hbar^3} T^4 = \sigma T^4$$

закон смещения Вина

$$T \lambda_m = \frac{2\pi \hbar c}{4.965k} = b$$

КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

Развивая классическую теорию теплового излучения, Д.Рэлей (1900 г.) и Д.Джинс (1905 г.) предложили рассмотреть каждую стоячую электромагнитную волну как объект с двумя степенями свободы, одна из которых - электрическая, а другая - магнитная.

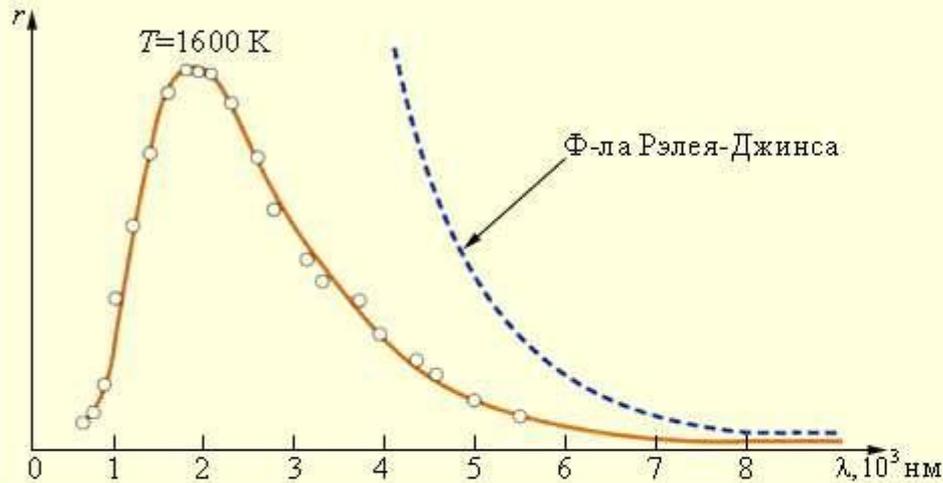
Согласно классической теореме о равномерном распределении энергии по степеням свободы, в состоянии термодинамического равновесия на каждую степень свободы системы приходится в среднем энергия, равная $1/2kT$.

Формула **Рэляя—Джинса.**

$$u(\omega, T) = kT \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3}$$

$$f(\omega, T) = kT \frac{\omega^2}{4\pi^2 c^2}$$

Закон Рэляя - Джинса



По этому закону интенсивность излучения должна возрасти пропорционально квадрату частоты.

• Следовательно, в тепловом излучении должно быть много ультрафиолетовых и рентгеновских лучей, чего на опыте не наблюдалось. Затруднения в согласовании теории с результатами эксперимента получили название *ультрафиолетовой катастрофы*.

Квантовая теория

"Ультрафиолетовая катастрофа" показала, что классическая физика содержит ряд принципиальных внутренних противоречий, которые проявились в теории теплового излучения и разрешить которые можно только с помощью принципиально новых физических идей.

Такая физическая идея была сформулирована в 1900 г. М.Планком в виде гипотезы о квантах. Согласно этой гипотезе, излучение испускается и поглощается веществом не непрерывно, а конечными порциями энергии, которые Планк назвал квантами энергии. Величина кванта энергии зависит от частоты излучения и определяется формулой: $E = h \cdot \nu$.

Формула Планка –

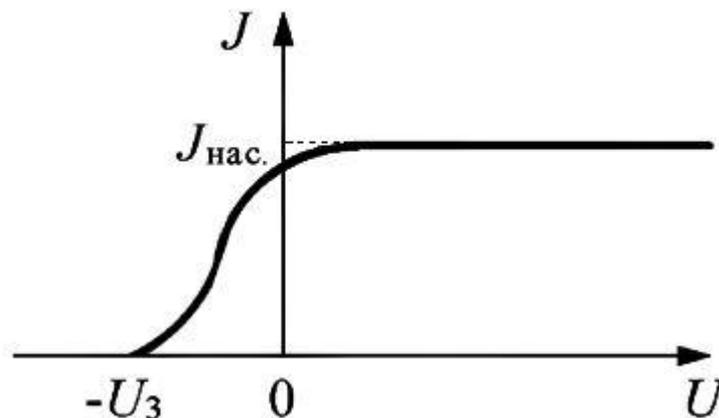
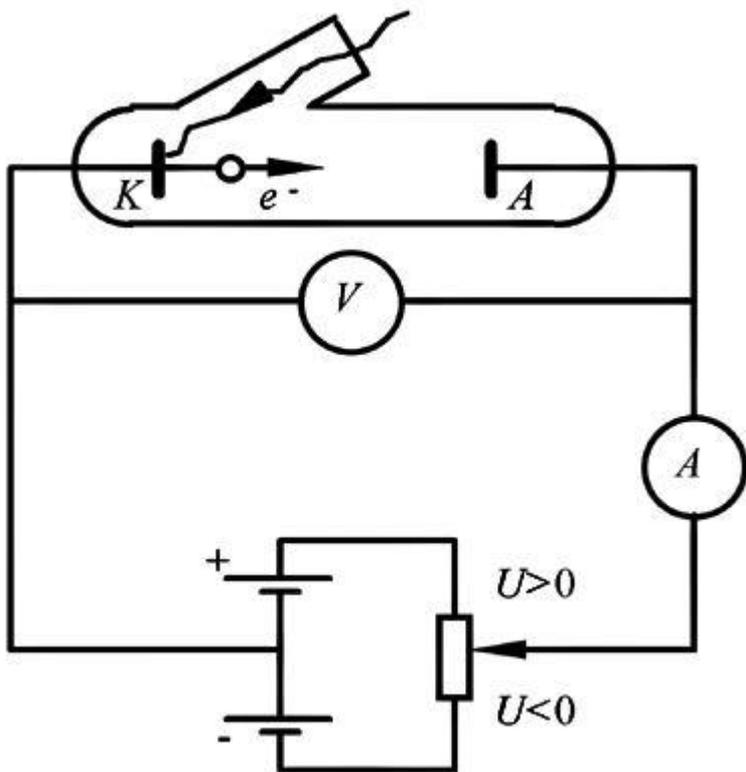
выражение для спектральной плотности энергии теплового излучения при данной температуре .

$$u(\omega, T) = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \frac{\hbar \omega}{e^{\frac{\hbar \omega}{kT}} - 1}$$

2. Внешний фотоэффект

Внешний фотоэффект - явление **испускания электронов** вещества

под **действием излучения**
Впервые фотоэффект был открыт в 1887 г. Г. Герцем. Детальное экспериментальное исследование закономерностей внешнего фотоэффекта для металлов было выполнено в 1888 г. А.Г. Столетовым

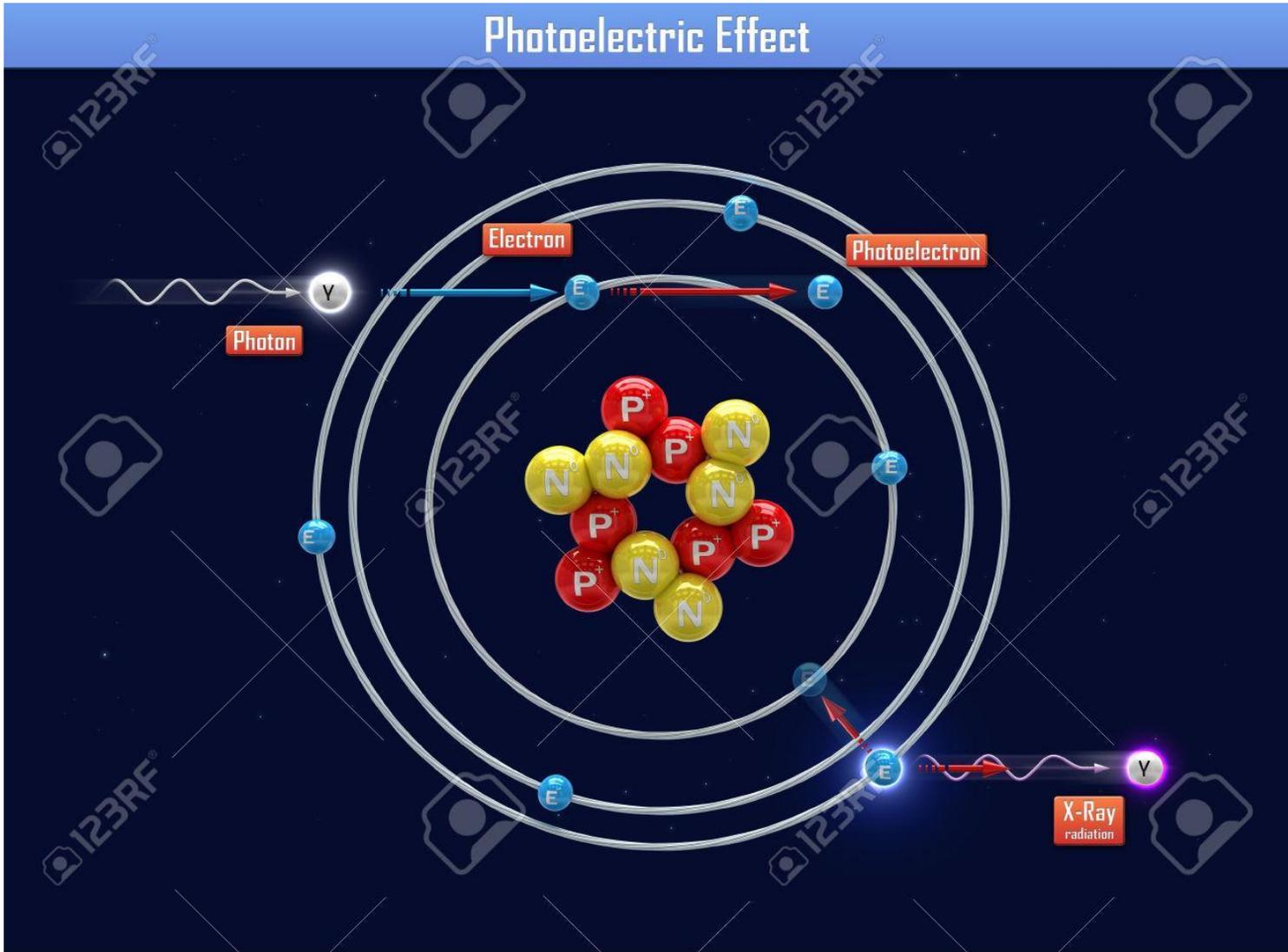


Качественный вид вольт-амперной характеристики такого фотоэлемента

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

$$h\nu = A + m_0 \cdot V^2/2$$

Photoelectric Effect

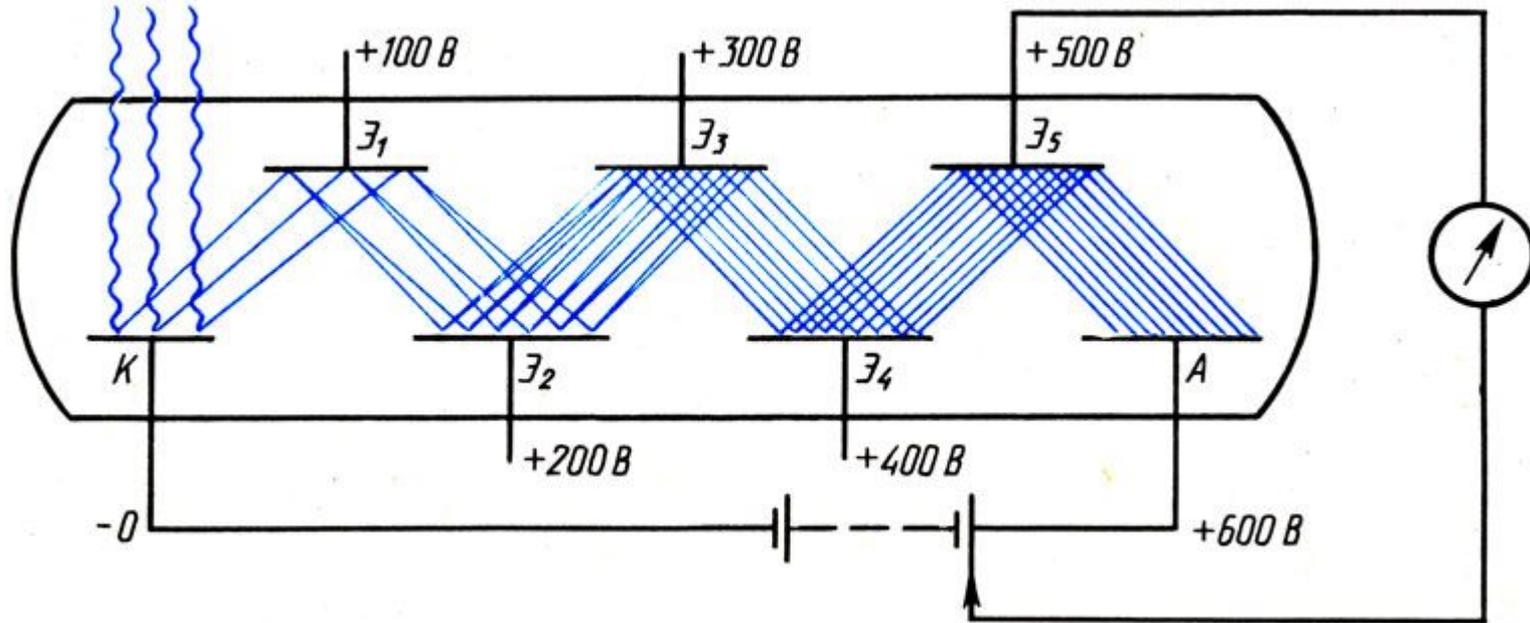


фотоэлемент

Сурьмяно-цезиевый фотоэлемент, использующий явление внешнего фотоэффекта



Фотоэлектронные умножители



Эффект Комптона

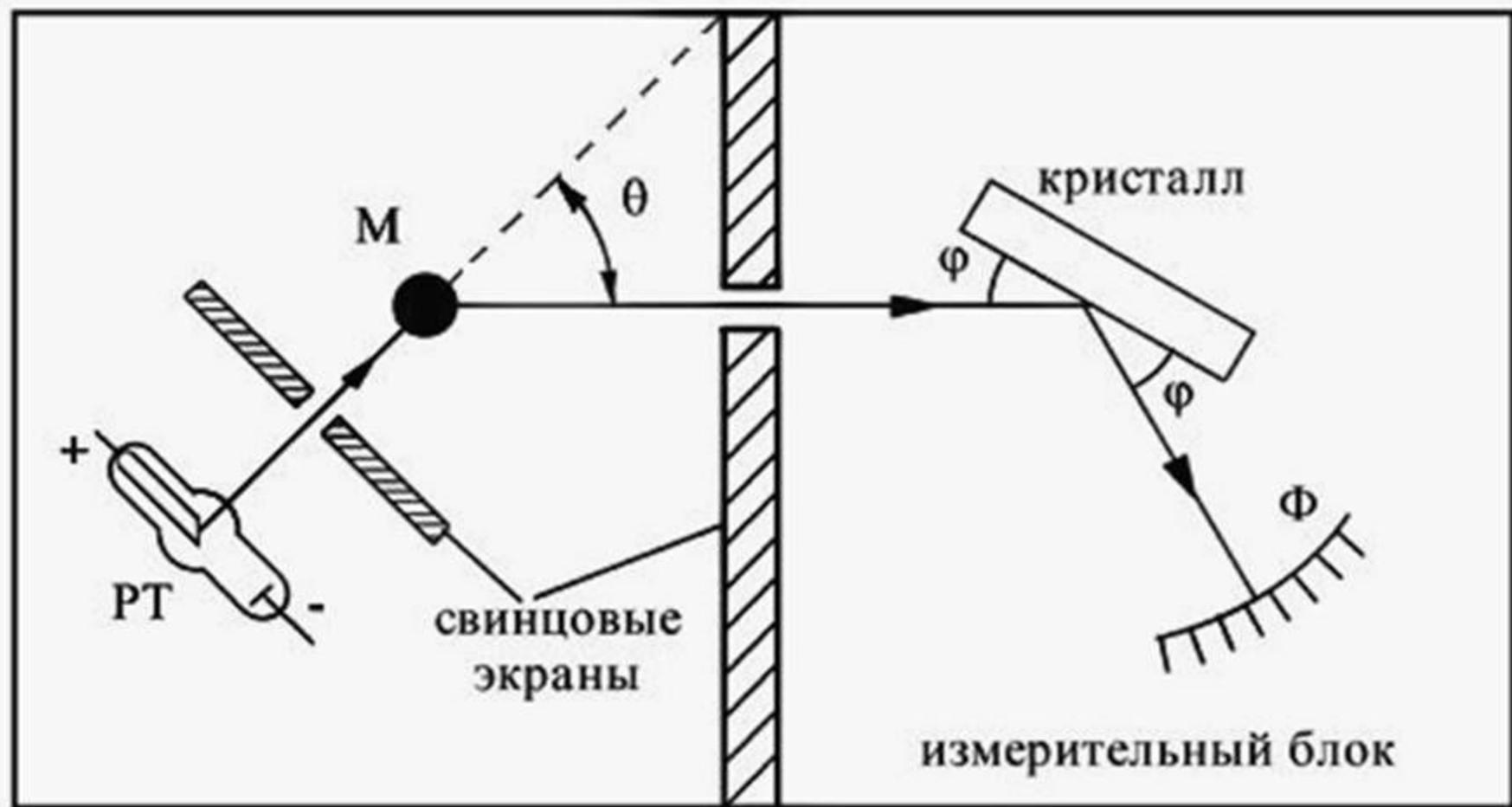


Схема экспериментальной установки Комптона

RT- рентгеновская трубка. Θ - угол рассеяния излучения; M – мишень рассеивателя. Длина волны рассеянного излучения определялась с помощью дифракции его на кристалле.

Compton Scattering (Compton Effect)

