

Атомная физика.

Лекция №1.

Излучение абсолютно черного тела.

Эффект Комптона.

Фотоэффект.

Гипотеза де-Бройля.

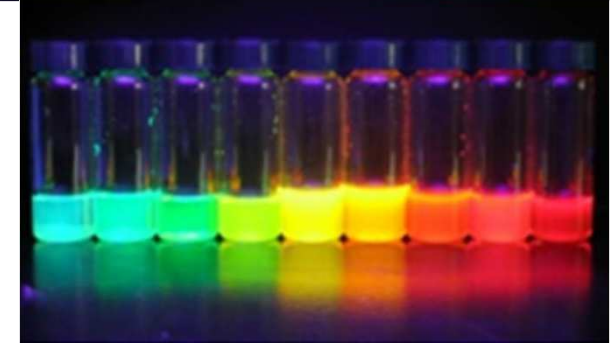
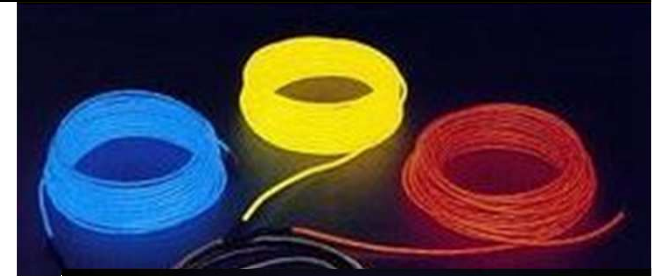
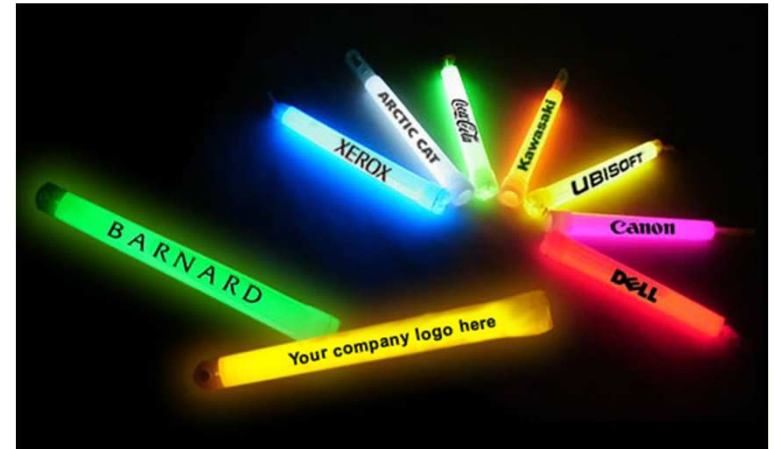
Соотношение неопределенностей

Гейзенберга.

Волновая функция.

Свечение тел

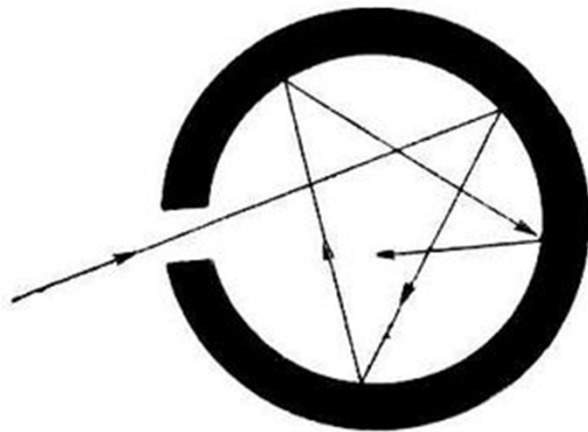
- Хемилюминесценция
- Электролюминесценция
- Фотолюминесценция



Тепловое (температурное)
излучение

Излучение абсолютно чёрного тела

- **Абсолютно чёрное тело** — физическая идеализация, применяемая в термодинамике, **тело, поглощающее всё падающее на него электромагнитное излучение во всех диапазонах и ничего не отражающее**. Несмотря на название, абсолютно чёрное тело само может испускать электромагнитное излучение любой частоты и визуально иметь цвет.



Модель АЧТ: отверстие в теле с полостью, стенки которой покрыты поглощающим излучение материалом. **ВАЖНО**: моделью АЧТ является не полость или система в целом, а **только отверстие**.

Среди тел Солнечной системы свойствами абсолютно чёрного тела в наибольшей степени обладает Солнце.

- **Энергетическая светимость тела** -- физическая величина, являющаяся функцией температуры и численно равная энергии, испускаемой телом в единицу времени с единицы площади поверхности по всем направлениям и по всему спектру частот.

$$R_T = \frac{W}{tS} \quad \bullet \quad \text{Дж/с}\cdot\text{м}^2 = \text{Вт/м}^2$$

- **Спектральная плотность энергетической светимости** — функция частоты и температуры характеризующая распределение энергии излучения по всему спектру частот (или длин волн).

$$R_T = \int_0^{\infty} r_{\omega,T} d\omega \qquad R_T = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda$$

- Аналогичную функцию можно написать и через длину волны (справа)
- Можно доказать что спектральная плотность и энергетическая светимость выраженные через частоту и длину волны, связаны соотношением:

$$r_{\omega,T} = \frac{\lambda^2}{2\pi c} r_{\lambda,T}$$

- **Поглощающая способность тела** — $a_{\omega,T}$ — функция частоты и температуры, показывающая какая часть энергии электромагнитного излучения, падающего на тело, поглощается телом в области частот $d\omega$ вблизи ω

$$a_{\omega,T} = \frac{d\Phi'_{\omega,T}}{d\Phi_{\omega,T}}$$

- где $d\Phi'$ - поток энергии, поглощающейся телом.
- $d\Phi$ - поток энергии, падающий на тело в области вблизи

- **Отражающая способность тела** - - функция частоты и температуры, показывающая какая часть энергии электромагнитного излучения, падающего на тело, отражается от него в области частот $d\omega$ вблизи ω

$$b_{\omega,T} = \frac{d\Phi''_{\omega,T}}{d\Phi_{\omega,T}}$$

где $d\Phi''$ - поток энергии, отражающейся от тела.

$d\Phi$ - поток энергии, падающий на тело в области $d\omega$ вблизи ω

- Для АЧТ поглощающая способность равна 1.
- Для серого тела поглощающая способность больше 0 и меньше 1.

Закон Кирхгофа

- Отношение излучательной способности любого тела к его поглотительной способности одинаково для всех тел при данной температуре для данной частоты и не зависит от их формы, химического состава и т.д.

Величины $r(\omega, T)$ и $a(\omega, T)$ могут сильно меняться при переходе от одного тела к другому, однако согласно закону излучения Кирхгофа отношение излучательной и поглотительной способностей не зависит от природы тела и является универсальной функцией частоты (длины волны) и температуры:

$$\frac{r(\omega, T)}{a(\omega, T)} = \frac{r_0(\omega, T)}{a_0(\omega, T)} = \frac{r(\omega, T)}{1} = f(\omega, T)$$

Законы излучения

В 1896 году **Вин** на основе дополнительных предположений вывел второй закон:

- $$u_\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} e^{-h\nu/kT}$$

где u_ν — плотность энергии излучения

ν — частота излучения

T — температура излучающего тела

h — постоянная Планка

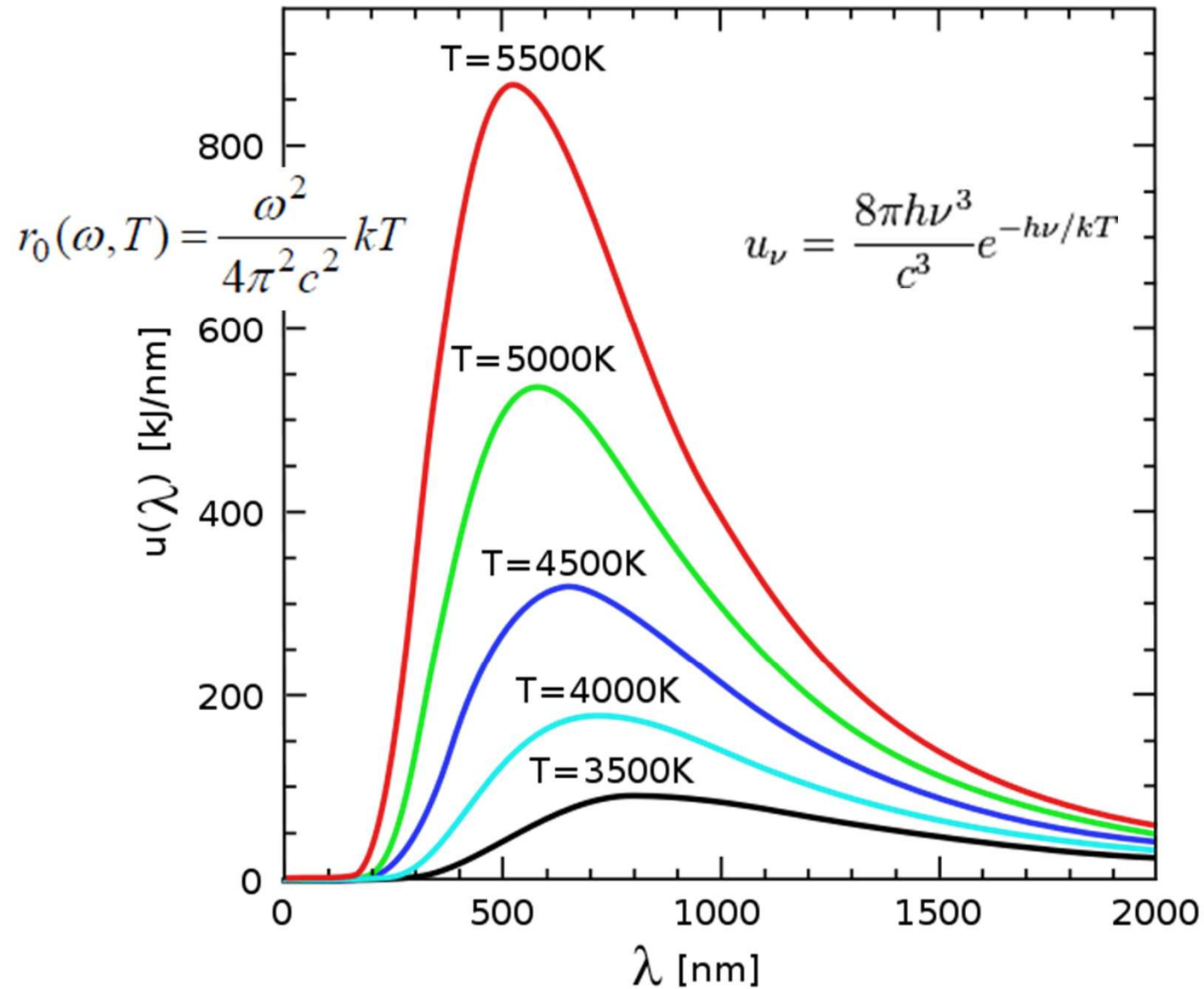
k — постоянная Больцмана

c — скорость света в вакууме

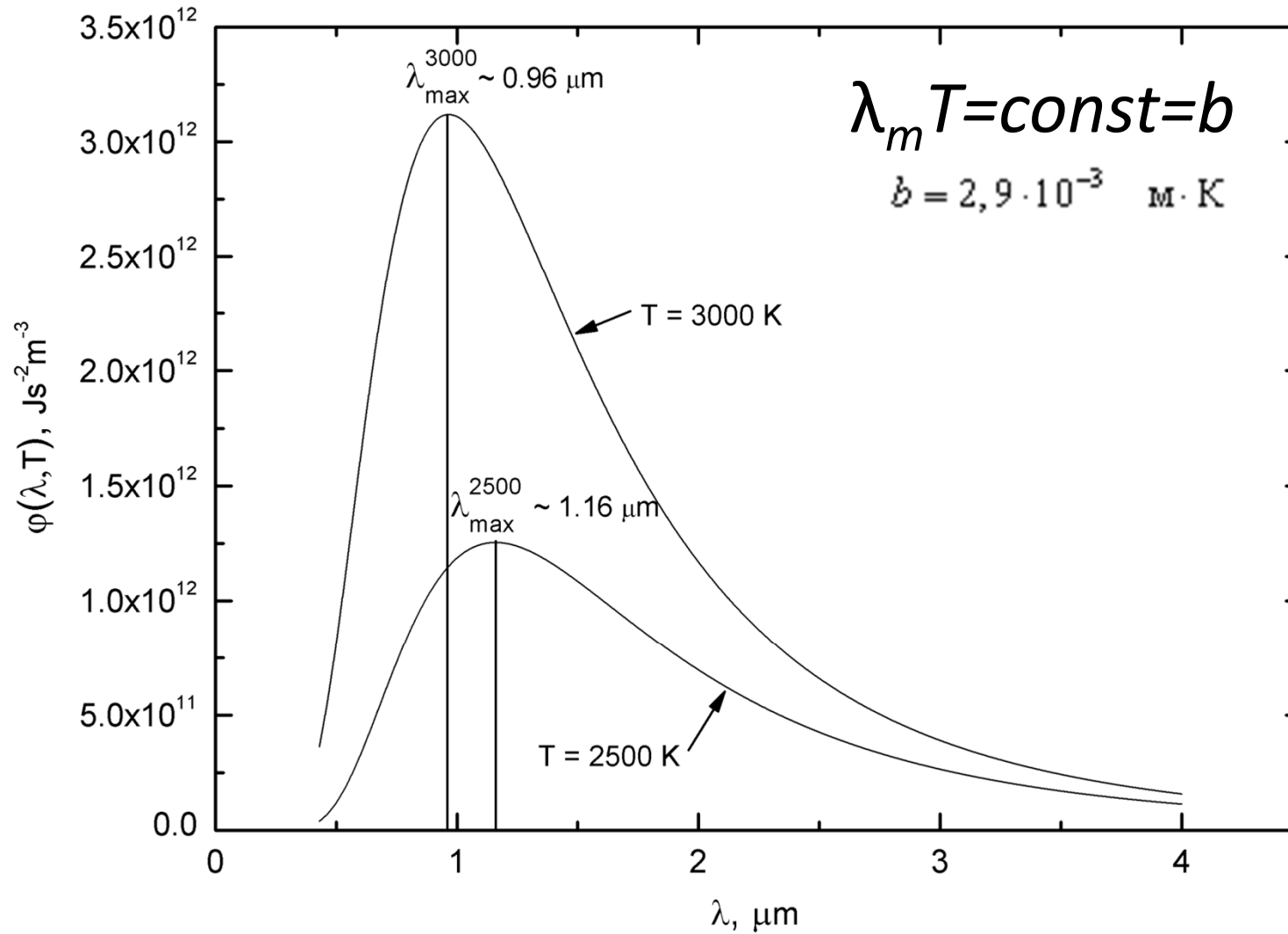
Закон Рэлея-Джинса является попыткой описать излучение абсолютно чёрного тела, исходя из классических представлений термодинамики и электродинамики.

$$r_0(\omega, T) = \frac{\omega^2}{4\pi^2 c^2} kT$$

Ультрафиолетовая и инфракрасная «катастрофы»



Закон смещения Вина



Закон Планка. Закон Стефана-Больцмана

Интенсивность излучения абсолютно чёрного тела в зависимости от температуры и частоты определяется **законом Планка**:

$$r_0(\omega, T) = \frac{\hbar \omega^3}{4\pi^2 c^2} \frac{1}{e^{\frac{\hbar \omega}{kT}} - 1}$$

где $I(\nu)d\nu$ — мощность излучения на единицу площади излучающей поверхности в диапазоне частот от ν до $\nu + d\nu$.

Эквивалентно,

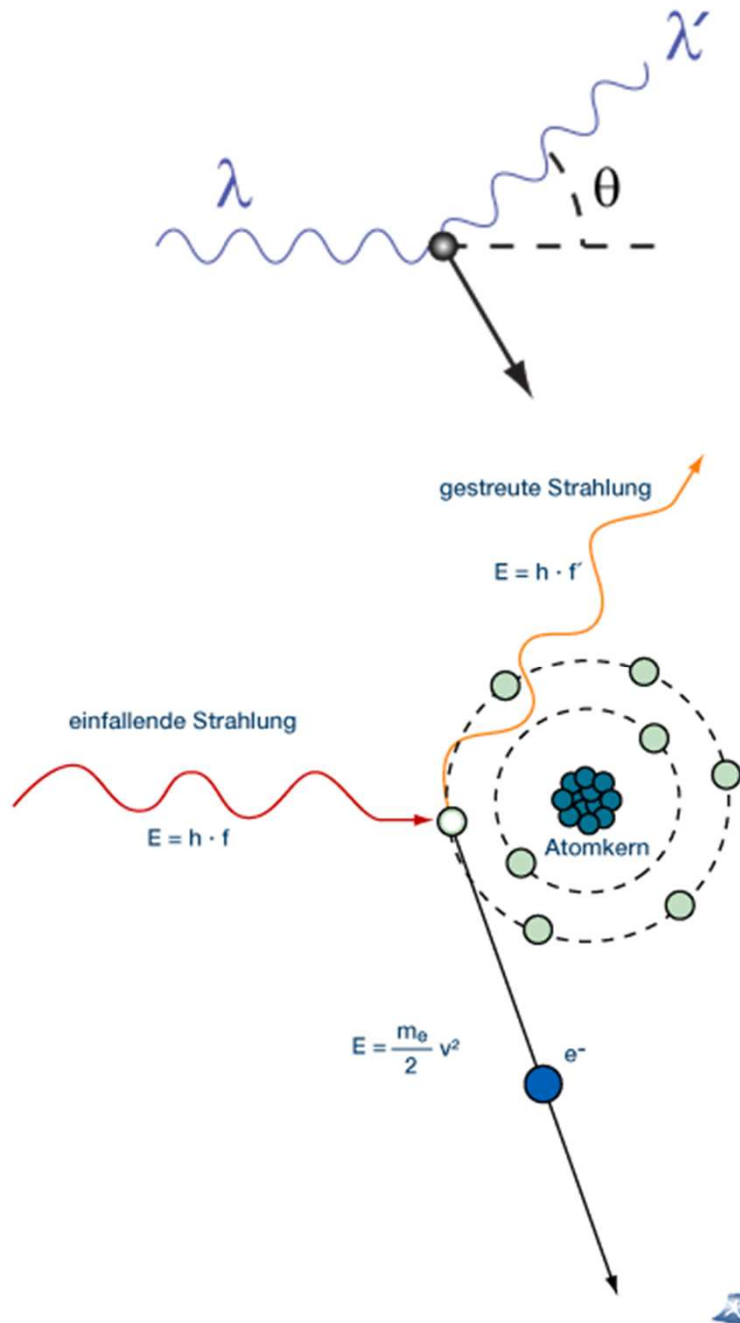
$$r_0(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

Суммарная интенсивность излучения чёрного тела во всём диапазоне излучения определяется **законом Стефана-Больцмана**:

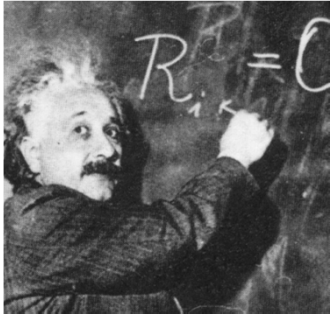
$$R(T) = \sigma T^4$$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = \frac{\pi^2 k^4}{60\hbar^3 c^2} \simeq 5,670400(40) \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4) \text{ — постоянная Стефана — Больцмана.}$$

Эффект Комптона

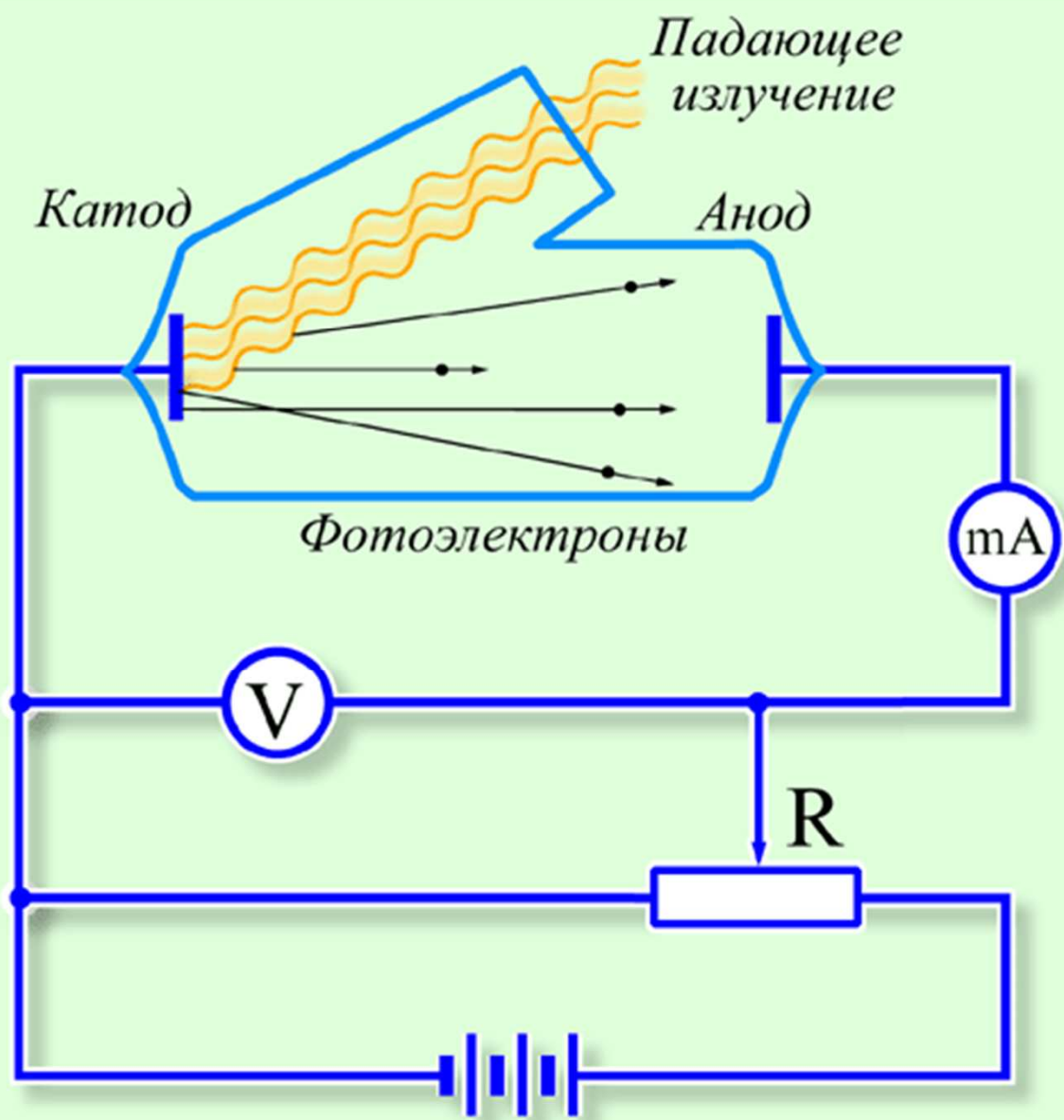


- Явление изменения длины волны электромагнитного излучения вследствие рассеивания его электронами. Обнаружен американским физиком Артуром Комптоном в 1923 году для рентгеновского излучения.
- $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \Lambda_c(1 - \cos\varphi)$



Фотоэффект

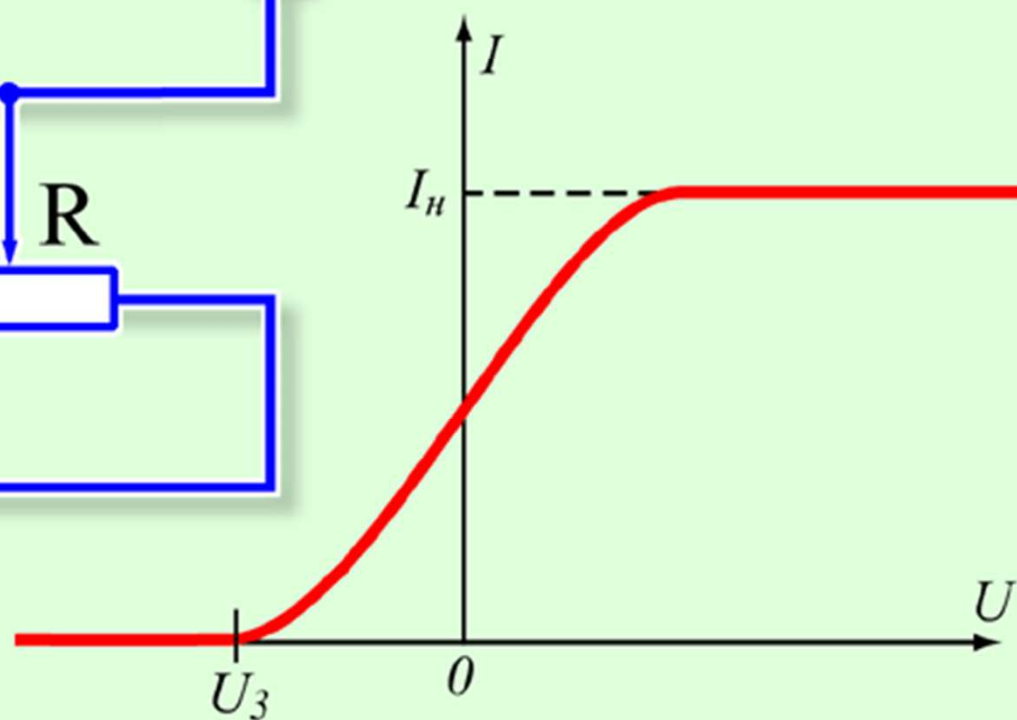
- **Фотоэффе́кт** — это испускание электронов веществом под действием света (и, вообще говоря, любого электромагнитного излучения). В конденсированных веществах (твёрдых и жидких) выделяют внешний и внутренний фотоэффект.
- **Законы фотоэффекта:**
 - количество электронов, вырываемых светом с поверхности металла за единицу времени на данной частоте, прямо пропорционально интенсивности света.
 - максимальная кинетическая энергия вырываемых светом электронов линейно возрастёт с частотой света и не зависит от его интенсивности.
 - для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, то есть минимальная частота света ν_0 (или максимальная длина волны λ_0), при которой ещё возможен фотоэффект, и если $\nu < \nu_0$, то фотоэффект уже не происходит.
- **Внутренним фотоэффектом** называется перераспределение электронов по энергетическим состояниям в твердых и жидких полупроводниках и диэлектриках происходящее под действием излучений. Он проявляется в изменении концентрации носителей зарядов в среде и приводит к возникновению *фотопроводимости* или *вентильного фотоэффекта*.



$$\left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\max} = eU_3 = h\nu - A.$$

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

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



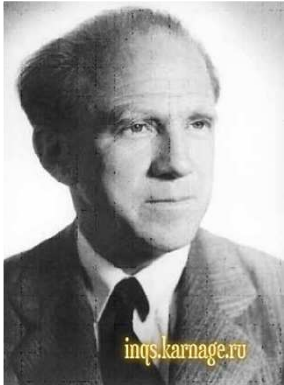
Гипотеза Де-Бройля: корпускулярно-волновой дуализм

- Луи де Бройль (1892—1987), развивая **представления о двойственной корпускулярно-волновой природе** света, в 1923 выдвинул году гипотезу об универсальности корпускулярно-волнового дуализма. Он утверждал, что не только фотоны, но и **электроны и любые другие частицы материи наряду с корпускулярными обладают также волновыми свойствами.**
- Когда дифракционная картина исследовалась для потока электронов, необходимо было доказать, что волновые свойства присущи каждому электрону в отдельности. Это удалось экспериментально подтвердить **в 1948 году советскому физику В. А. Фабриканту.** Он показал, что даже в случае столь слабого электронного пучка, когда **каждый электрон проходит через прибор независимо от других,** возникающая при длительной экспозиции дифракционная картина не отличается от дифракционных картин, получаемых при короткой экспозиции для потоков электронов в десятки миллионов раз более интенсивных.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}, \quad \mathbf{p} = \frac{h}{2\pi} \mathbf{k} = \hbar \mathbf{k},$$

$$\mathbf{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \mathbf{n}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$



Соотношение неопределённостей Гейзенберга

- Соотношения неопределённостей Гейзенберга являются **теоретическим пределом точности одновременных измерений** двух некоммутирующих наблюдаемых.
- *Пример: представим, что нам надо измерить положение электрона, «просвечивая» пространство излучением с маленькой длиной волны. Если электрон поглощает квант такого излучения – мы видим его «тень» и узнаём его положение. Но, поглотив квант излучения, электрон меняет свой импульс.*

$$\Delta x_i \Delta p_i \geq \frac{\hbar}{2}$$

«Бог не играет в кости!»

Альберт Эйнштейн

$$\Delta J_i \Delta J_j \geq \frac{\hbar}{2} |\langle J_k \rangle|$$

«Эйнштейн, не говорите Богу, что делать!»

Нильс Бор

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

Квантового физика останавливает на шоссе полицейский и спрашивает: «Вы знаете, как быстро Вы ехали, сэр?». На что физик отвечает: «Нет, но я точно знаю, где я!»



Волновая функция

- **Волно́вая фу́нкция (функция состояния, пси-функция)** — комплекснозначная функция, используемая в квантовой механике для описания чистого состояния квантовомеханической системы.
- Физический смысл волновой функции заключается в том, что **плотность вероятности нахождения частицы в данной точке пространства** в данный момент времени считается равной **квадрату абсолютного значения волновой функции** этого состояния
- Вероятность нахождения частицы в области пространства объёмом V можно рассчитать по формуле

$$P = \int dP = \int_V \omega dV = \int_V \Psi^* \Psi dV$$

- Нормированность волновой функции:

$$\iiint_{-\infty}^{+\infty} |\Psi|^2 dx dy dz = 1$$

Волновая функция

- Принцип суперпозиции: если система может пребывать в состояниях, описываемых волновыми функциями Ψ_1 и Ψ_2 , то она может пребывать и в состоянии, описываемом волновой функцией

$$\Psi_{\Sigma} = c_1 \Psi_1 + c_2 \Psi_2 \quad \Psi_{\Sigma} = c_1 \Psi_1 + c_2 \Psi_2 + \dots + c_N \Psi_N = \sum_{n=1}^N c_n \Psi_n$$

- при любых комплексных c_1 и c_2 .
- *Условия регулярности волновой функции*
 - *Условие конечности волновой функции.* Волновая функция не может принимать бесконечных значений, таких, что интеграл станет расходящимся. Следовательно, это условие требует, чтобы волновая функция была квадратично интегрируемой функцией. В частности, в задачах с нормированной волновой функцией квадрат модуля волновой функции должен стремиться к нулю на бесконечности.
 - *Условие однозначности волновой функции.* Волновая функция должна быть однозначной функцией координат и времени, так как плотность вероятности обнаружения частицы должна определяться в каждой задаче однозначно. В задачах с использованием цилиндрической или сферической системы координат условие однозначности приводит к периодичности волновых функций по угловым переменным.
 - *Условие непрерывности волновой функции.* В любой момент времени волновая функция должна быть непрерывной функцией пространственных координат. Кроме того, непрерывными должны быть также частные производные волновой функции

Выучить к следующей лекции:

- Формулы и законы:
 - Планка,
 - Вина,
 - Рэлея-Джинса,
 - з-н смещения Вина,
 - з-н Стефана-Больцмана
 - Эйнштейна (для фотоэффекта)
 - Законы Столетова
 - Физический смысл и свойства волновой функции
- Постоянные:
 - Стефана-Больцмана
 - Планка