

## Фотоефект. Закони фотоефекту

### Основні терміни та закони:

*Фотоефект, внутрішній фотоефект, зовнішній фотоефект, фотострум, сила струму насичення, закони зовнішнього фотоефекту, червона межа фотоефекту, робота виходу, рівняння Ейнштейна, фотоелементи, фоторезистори.*

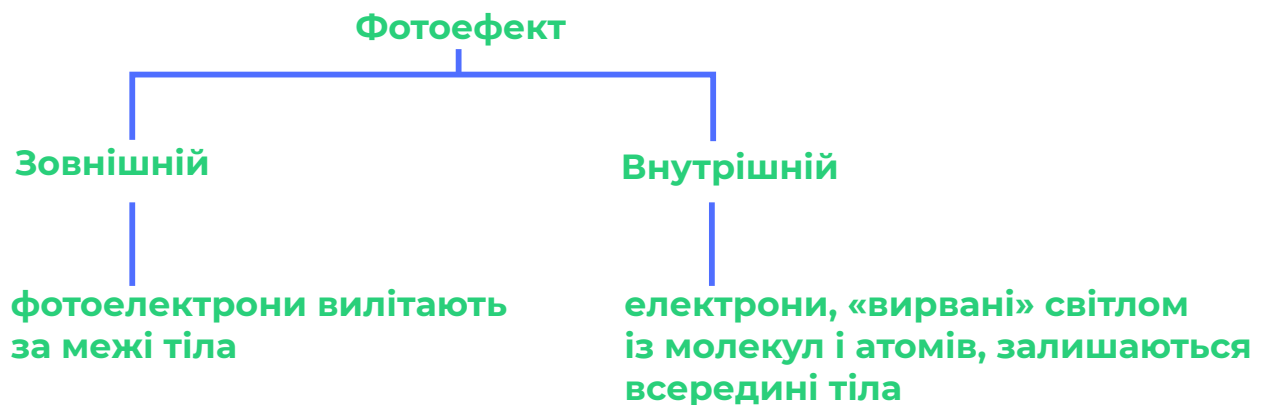
М. Планк висунув гіпотезу, що нагріте тіло випромінює світло не неперервно, а окремими порціями — *ен квантами енергії*.

Із цієї гіпотези виникла *квантова механіка*, яка стала основою для вивчення явищ мікросвіту.

Згідно з квантовою механікою багато величин, що характеризують мікросвіт, квантуються, тобто набувають лише низки дискретних значень.

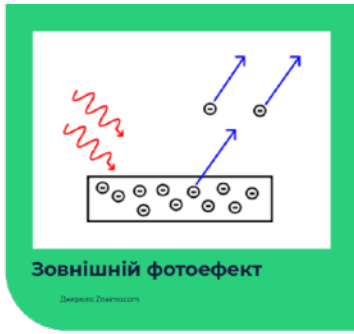
Квантові уявлення стали основою для пояснення закономірностей явища фотоефекту.

**Фотоефект** — це явище взаємодії світла з речовиною, яке супроводжується випромінюванням (емісією) електронів.



Фотоефект відкрив Генріх Герц у 1887 році, а закони фотоефекту експериментально встановив Олександр Григорович Столетов у 1888–1890 рр.

Для вивчення фотоефекту О. Г. Столетов використав пристрій, сучасне зображення якого схематично наведено на рисунку.



Пристрій складався зі скляної лампи химерної форми, з якої викачували повітря. По обидва боки у скло були впаяні два електроди: катод К (негативний електрод) і анод А (позитивний електрод). На них подається напруга від батареї. Однак ніякого струму в колі немає, оскільки воно є незамкненим. Але якщо почати опромінювати світлом катод (К), світлові хвилі починають вибивати з металеві пластики електрони. Звільнившись із металевого полону, під дією електричної сили електрони

цілеспрямовано починають рухатися у бік анода (А), утворюючи **фотострум**, сила якого вимірюється мікроамперметром, і замикаючи електричне коло. У разі збільшення напруги в колі сила фотоструму також збільшується.

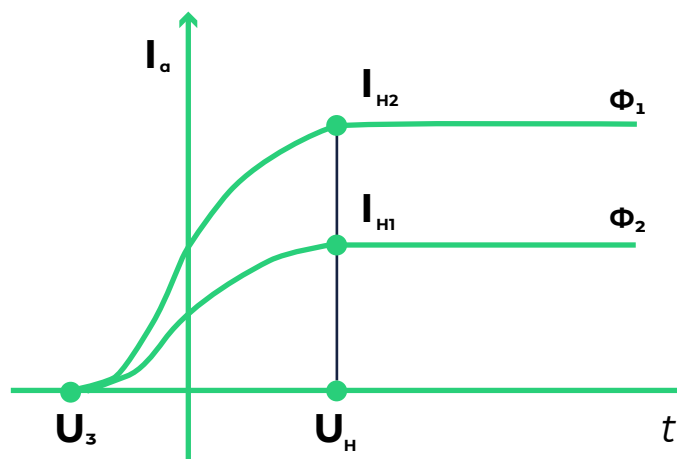
За певної напруги сила фотоструму досягає максимального значення й далі залишається незмінною.

Найбільший фотострум, який дістають за незмінного світлового потоку, називають **фотострумом насичення**.

1. Фотострум насичення може бути кількісною характеристикою фотоелектру, який обраховують за формулою:

$$I_H = \frac{q_{max}}{t} = \frac{N|e|}{t}$$

де  $q_{max}$  — заряд, перенесений фотоелектронами;  $N$  — кількість «вибитих» електронів;  $e$  — заряд електрона;  $t$  — час спостереження.



2. Зі зменшенням напруги між електродами сила фотоструму зменшується. При відсутності напруги між електродами фотострум не зникає. Це можна пояснити наявністю у фотоелектронів певної кінетичної енергії.

$$E_k = \frac{m\nu^2}{2}$$

$m$  — маса електрона;  $v$  — швидкість, яку має електрон у момент «відриву» від катода. швидкість позначити символом “ $v_e$ ”

3. Якщо поміняти місцями полюси батареї, то електричне поле між електродами гальмуватиме рух електронів. Поступово підсилюючи затримувальне поле, можна зовсім припинити фотострум. Згідно з теоремою про кінетичну енергію, робота електростатичного поля дорівнює зміні кінетичної енергії фотоелектрона  $A_{ел} = \Delta E_{kmax}$ :

$$eU_3 = \frac{m_e v_{max}^2}{2}$$

Змінюючи по черзі інтенсивність і частоту падаючого світла, а також матеріал, з якого виготовлений катод, О. Г. Столетов установив три закони зовнішнього фотоефекту.



**Червона межа фотоефекту** — мінімальна частота або максимальна довжина світлової хвилі, при якій ще спостерігається фотоефект.

Для пояснення законів фотоефекту А. Айнштейн використав ідею Макса Планка. На той час було відомо, що кожній речовині відповідає своя робота виходу.

**Робота виходу**  $A_{вих}$  — це фізична величина, що характеризує метал і дорівнює енергії, яку треба передати електрону для того, щоб він зміг подолати сили, які утримують його на поверхні цього металу.

**Рівняння Айнштейна для зовнішнього фотоефекту:**

$$E_{\phi} = A_{вих} + E_{kmax} \qquad h\nu = A_{вих} + \frac{m_e v_{max}^2}{2}$$

Кожному металу відповідає своя робота виходу.

Робота виходу електронів із поверхні деяких металів $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$	
Метал	$A_{\text{вих}}, \text{ eV}$
Вольфрам	4,5
Золото	4,3
Калій	2,2
Кобальт	4,4
Літій	2,4
Мідь	4,7
Нікель	4,5
Платина	6,35
Срібло	4,3
Хром	4,6
Цезій	1,8
Цинк	4,2

Фотоефект отримав широке застосування у пристроях для перетворення світлових сигналів на електричні або для безпосереднього перетворення світлової енергії на електричну.

**Фотоелементи із зовнішнім фотоефектом** — вакуумні безінерційні прилади для одержання фотострумів.

**Фотоелементи із внутрішнім фотоефектом** — фотоелементи із запираючим шаром.

**Фоторезистори** — напів провідники, в яких під дією світла відбувається внутрішній фотоефект і різко змінюється їхній опір.



#### Приклад розв'язання типових задач:

**Умова задачі:** Залізну кульку, віддалену від інших тіл, освітлюють монохроматичним світлом довжиною хвилі 200 нм. До якого максимального потенціалу  $\varphi$  зарядиться кулька, втрачаючи фотоелектрони? Робота виходу електрона із заліза  $A=4,36 \text{ eV}$ .

**Дано:**

$$\lambda = 200 \text{ нм} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

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

$$A = 4,36 \text{ eВ} = 4,36 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$\varphi$  – ?

**Розв'язання**

Кулька буде заряджатися доти, доки її потенціал не стане дорівнювати затримувальному потенціалу. Максимальна кінетична енергія електронів пов'язана із затримувальним потенціалом формулою  $\frac{mv^2}{2} = e\varphi$

$$\frac{mv^2}{2} = e\varphi$$

Із рівняння Ейнштейна для фотоефекту  $h\nu = A_{\text{вих}} + \frac{m_e v^2}{2}$ , переписаного у вигляді  $\frac{hc}{\lambda} = A + e\varphi$ .

$$\frac{hc}{\lambda} = A + e\varphi$$

Визначимо шуканий потенціал  $\varphi$ :  $\varphi = \frac{1}{e} \left( \frac{hc}{\lambda} - A \right)$

Підставимо числові вирази та обрахуємо потенціал кульки:

$$\varphi = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19}} \left( \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{-7}} - 4,36 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \right) \approx 1,8 \text{ В}$$

**Відповідь:** 1,8 В.

**Рекомендовані джерела:**

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt\\_fotoefekt&l=ua](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_fotoefekt&l=ua) — віртуальний додаток, який допоможе дослідити явище фотоефекту (13.03.2021).