**Фотоефект. Закони фотоефекту**

Ще двадцать років тому в більшості людей словосполучення «сонячні батареї» асоціювалось із системою забезпечення космічного корабля енергією. Але вже в 2016 р. сумарна потужність «земних» сонячних батарей склала понад 100 ГВт, що майже в 10 разів більше, ніж потужність усіх атомних електростанцій України.

Яке наукове відкриття привело до створення сонячних батарей?

**1. Фотоефект**

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

Розрізняють *зовнішній фотоефект*, за якого фотоелектрони вилітають за межі тіла, і *внутрішній фотоефект*, за якого електрони, «вирвані» світлом із молекул і атомів, залишаються всередині тіла.

Зовнішній фотоефект можна спостерігати за допомогою електрометра з прикріпленою до нього цинковою пластиною. Якщо пластині передати від’ємний заряд і освітлювати її ультрафіолетовим випромінюванням, стрілка електрометра швидко опускається, що свідчить про швидке розрядження пластини. У разі позитивного заряду пластини такий ефект не спостерігається. Пояснити це можна тим, що, поглинаючи кванти ультрафіолетового випромінювання, пластина висилає електрони. Якщо пластина заряджена негативно, то електрони відштовхуються від неї й пластина втрачає заряд.

**2. Закони зовнішнього фотоефекту**

Зовнішній фотоефект відкрив німецький фізик *Г. Герц* у 1887 р., а детально дослідив російський учений *Олександр Григорович Столетов* (1839-1896) у 1888-1890 рр.

***Досліди Столетова***

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

Всередині камери, з якої викачане повітря, розташовані два електроди (анод А і катод К). На електроди подається напруга від джерела струму, яка регулюється. Світловій пучок, який падає на катод, «вириває» з його поверхні електрони. Рухаючись від катода до анода, фотоелектрони створюють ***фотострум***, сила якого сила якого вимірюється мікроамперметром.



Якщо побудувати графік залежності сили фотоструму від поданої напруги то можна побачити:

1) За певної напруги сила фотоструму досягає максимального значення і далі залишається незмінною. Це відбувається тоді, коли всі електрони, які випромінює катод, досягають анода.

**Сила струму насичення – це найбільше значення сили фотоструму.**

 – заряд, перенесений фотоелектронами; – кількість «вибитих» електронів; – заряд електрона; – 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.

 – маса електрона; – швидкість, яку має електрон, в момент «відриву» від катода.

3) Якщо катод з’єднати з позитивним полюсом джерела струму, а анод – із негативним, то електричне поле буде гальмувати електрони, і при досягненні певної **затримуючої (запірної) напруги** навіть найшвидші електрони не дістануться анода, а отже, фотострум припиниться. Згідно з теоремою про кінетичну енергію робота електростатичного поля дорівнює зміні кінетичної енергії фотоелектрона :

 – маса електрона; – максимальна початкова швидкість фотоелектрона.

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

**Закони зовнішнього фотоефекту:**

1. Кількість фотоелектронів, яку випромінює катод за одиницю часу, прямо пропорційна інтенсивності світла.

2. Максимальна початкова швидкість фотоелектронів збільшується зі збільшенням частоти падаючого світла і не залежить від інтенсивності світла.

3. Для кожної речовини існує максимальна довжина світлової хвилі (червона межа фотоефекту), за якої починається фотоефект. Опромінення речовини світловими хвилями більшої довжини фотоефекту не викликає.



|  |
| --- |
| *Робота виходу електронів із поверхні деяких металів*  |
| **Метал** |  |
| 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 |

**3. Квантове пояснення фотоефекту**

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

**Робота виходу – 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.**

А. Ейнштейн припустив: *унаслідок поглинання фотона металом енергія фотона може бути повністю передана електрону й витратитися на здійснення роботи виходу та надання електрону кінетичної енергії .*

**Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:**

**Рівняння Ейнштейна дає можливість пояснити всі закони зовнішнього фотоефекту:**

1. Більша інтенсивність світла означає більшу кількість фотонів, які падають на катод. Поглинаючись електронами речовини, фотони сприяють випромінюванню електронів.

2. *Електрон може поглинути тільки один фотон* (більше – лише за дуже великої інтенсивності світла), тому максимальна кінетична енергія електрона визначається тільки енергією фотона, а отже, частотою світла і не залежить від кількості фотонів.

3. Максимальна довжина світлової хвилі (мінімальна частота) відповідає мінімальній енергії фотона: якщо , то електрони не вилітатимуть із речовини. Умова визначає *червону межу фотоефекту*.

Саме за пояснення явища фотоефекту А. Ейнштейн одержав найвищу наукову нагороду – Нобелівську премію (1921 р.).

**4. Застосування фотоефекту**

Фотоефект отримав широке застосування у пристроях для перетворення світлових сигналів на електричні або для безпосереднього перетворення світлової енергії на електричну. Існують два великі класи таких пристроїв:

***Вакуумні фотоелементи***

Дія вакуумних фотоелементів ґрунтується на *зовнішньому фотоефекті.*

Вакуумні фотоелементи здебільшого застосовують у різноманітних *фотореле* (для автоматичного вмикання і вимикання освітлення, сортування деталей за формою і кольором, у системах безпеки тощо) і вимірювальних приладах (для вимірювання освітленості, вимірювання потужності імпульсних оптичних сигналів).

***Напівпровідникові фотоелементи***

Дія напівпровідникових фотоелементів заснована на *внутрішньому фотоефекті*.

Напівпровідникові фотоелементи застосовують у чутливих *фотоприймачах*, які перетворюють слабкі світлові сигнали на електричні; у *сонячних батареях*, в яких сонячна енергія перетворюється на електричну.

Фотоприймачі застосовують у *цифрових фотоапаратах* – їхня матриця складається з великої кількості напівпровідникових фотоелементів, кожен з яких приймає «свою» частину світлового потоку, перетворює її на електричний сигнал і передає його у відповідне місце екрана.

Застосування фотоефекту в енергетиці пов’язане насамперед із *сонячними батареями*.

**Розв’язання задач**

1. Як зміниться робота виходу фотоелектронів з металу при збільшенні частоти падаючого світла? (Не зміниться)

2. Фотон вибиває з металу, для якого робота виходу дорівнює 3 еВ, електрон з енергією 2 еВ. Яка мінімальна енергія такого фотона?

|  |  |
| --- | --- |
| ***Дано:*** | ***Розв’язання***Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:***Відповідь:*** . |
|  |

3. Червона межа фотоефекту для деякого матеріалу 150 нм. Знайдіть роботу виходу електронів із даного матеріалу.

|  |  |
| --- | --- |
| ***Дано:*** | ***Розв’язання******Відповідь:*** . |
|  |

4. Робота виходу електронів з металу 5,15 еВ. Чи викличе фотоефект ультрафіолетове випромінювання з довжиною хвилі 300 нм?

|  |  |
| --- | --- |
| ***Дано:*** | ***Розв’язання***Для розв'язання задачі необхідно знайти червону межу фотоефекту:Фотоефект не настане, тому що найбільша довжина хвилі, при якій ще існує фотоефект, , а дане ультрафіолетове випромінювання має довжину хвилі , тобто більшу за довжину хвилі червоної межі фотоефекту.***Відповідь:*** фотоефект не настане, так як . |
|  |

5. Енергія випромінювання, що падає на метал, в три рази більша за роботу виходу. У скільки разів максимальна кінетична енергія фотоелектронів відрізняється від роботи виходу?

|  |  |
| --- | --- |
| ***Дано:*** | ***Розв’язання***Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту:***Відповідь:*** . |
|  |

**Домашнє завдання**

Опрацювати § 34, Вправа № 34 (2-4)