

Урок 15 Електричний струм у вакуумі. Електровакуумні прилади

Мета уроку:

Навчальна: Пояснити природу електричного струму у вакуумі; роз'яснити поняття електронного пучка та ознайомити учнів з видами емісії, основними властивостями електронних пучків, будовою, принципом дії та застосуванням вакуумного діода, електронно-променевої трубки.

Розвивальна. Сприяти збагаченню словникового запасу; формуванню пізнавальної самостійності; розвитку спостережливості, уваги, пам'яті, уяви, мислення; виробленню звички до планування своїх дій.

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: комбінований

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

Хід уроку

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Як ми знаємо, щоб існував електричний струм, необхідні вільні носії електричного заряду. Що ж є носієм заряду у вакуумі?

III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Термоелектронна емісія

Вакуум (від латин, *vacuum* – порожнеча) – це стан газу за тиску, який менший від атмосферного.

Розрізняють низький, середній, високий (глибокий) вакууми:

- *низький вакуум* – якщо вільний пробіг молекул газу менший за лінійні розміри посудини ($\lambda \ll d$);
- *середній вакуум* – вакуум, у якому довжина вільного пробігу молекул газу і лінійні розміри посудини є сумірними величинами ($\lambda \approx d$);
- *високий вакуум* – вакуум, при якому довжина вільного пробігу молекул газу перевищує лінійні розміри посудини, в якій міститься газ ($\lambda \gg d$).

Коли кажуть про електричний струм у вакуумі, мають на увазі *високий (глибокий) вакуум*.

Для того щоб у вакуумі міг існувати електричний струм, в ньому необхідно попередньо створити деяку концентрацію вільних носіїв заряду, наприклад електронів. Найбільша концентрація вільних електронів – у металах.

Робота виходу $A_{\text{вих}}$ – це енергія, яку необхідно мати електрону, щоб залишити метал.

$$E_k \geq A_{\text{вих}} \quad \frac{m_e v^2}{2} \geq A_{\text{вих}}$$

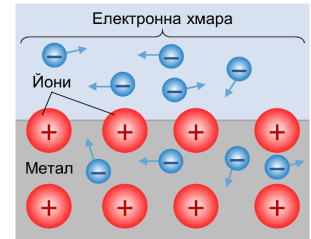
Електронна емісія – це процес випромінювання електронів із поверхні металів.

Види електронної емісії:

- *Термоелектронна емісія* – випромінювання електронів нагрітими тілами.
- *Фотоелектронна емісія* відбувається під дією випромінювання, яке падає на поверхню тіла.
- *Автоелектронна емісія* зумовлена наявністю біля поверхні тіла сильного електричного поля, яке «вириває» електрони з металу.
- *Вторинна електронна і йонно-електронна емісії* – випромінювання електронів із поверхні тіла внаслідок його бомбардування електронами або йонами відповідно.
- *Вибухова електронна емісія* – емісія електронів унаслідок переходу мікроскопічних ділянок катода в плазму (локальний вибух).

Щоб створити електричний струм у вакуумі, найчастіше використовують *термоелектронну емісію*.

Оскільки нагрітий метал безперервно випускає електрони, біля його поверхні завжди існує *хмара вільних електронів* – *електронна хмара*, що має *негативний заряд*. Відповідно *поверхня металу набуває позитивного заряду*. Під впливом електричного поля, яке виникає між хмарою та поверхнею металу, деяка частина електронів повертається назад. У стані *рівноваги кількість електронів, що залишили метал, дорівнює кількості електронів, що повернулися в нього*. При цьому чим більша температура металу, тим більша густина електронної хмари.

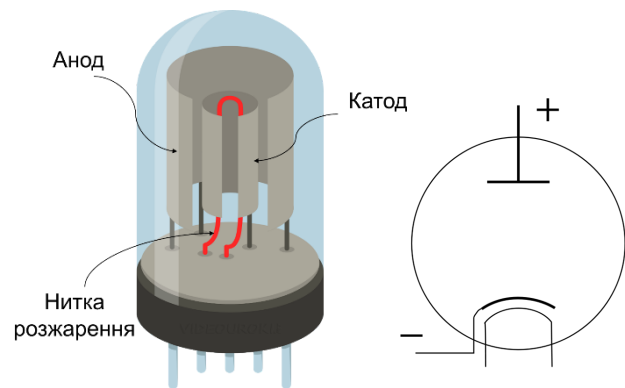


2. Електричний струм у вакуумі

Для існування струму необхідне виконання двох умов: *наявність вільних заряджених частинок і електричного поля*. Для створення цих умов у балон поміщають два електроди (катод і анод) і викачують з балона повітря. Внаслідок нагрівання катода з нього вилітають електрони. На катод подають негативний потенціал, на анод – позитивний. Електрони, що вилетіли з катода, потрапляють в електричне поле між катодом і анодом і починають рухатися напрямлено, створюючи електричний струм.

Електричний струм у вакуумі – це напрямлений рух вільних електронів, отриманих у результаті електронної емісії.

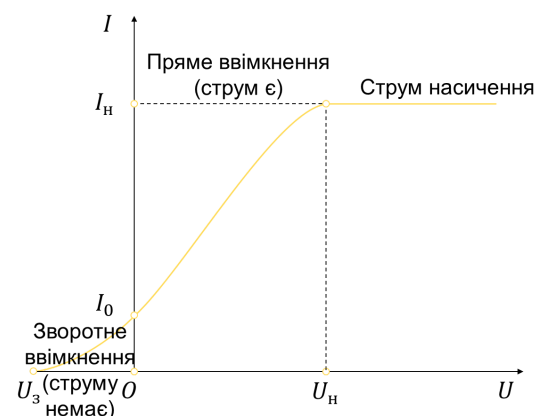
Вакуумний (ламповий) діод – це пристрій, що складається зі скляного балона, з якого відкачано повітря, і розташованих у балоні двох електродів (анода і підігрівного катода).



Якщо анод підключити до позитивного полюса батареї, а катод до негативного, то електричне поле переміщуватиме електрони в напрямку від катода до анода (*пряме ввімкнення*).

Якщо підключити катод до позитивного полюса батареї, а анод – до негативного, то поле всередині діода зміщуватиме електрони до катода, і струму не буде (*зворотне ввімкнення*). Вакуумний діод має *однобічну провідність*.

Свого часу однобічну провідність вакуумного діода використовували для перетворення змінного струму. Цим пояснюється властивість односторонньої провідності діода, яку використовують у випрямлячах змінного струму (коли треба перейти від змінного струму до постійного). Тепер у випрямлячах використовують напівпровідникові діоди.



3. Електронні пучки: їх властивості та застосування

Якщо в аноді лампового діода зробити отвір, то частина електронів, прискорених електричним полем, влетить у цей отвір і створить за анодом електронний пучок.

Електронний пучок – потік електронів, які швидко рухаються.

Властивості електронних пучків:

- 1) спричиняють нагрівання тіл у разі потрапляння на їх поверхню (плавлення надчастих металів; зварювання, спаювання та різання металів у вакуумі);
- 2) викликають появу рентгенівського випромінювання в разі швидкого гальмування (рентгенівські трубки: під час різкого гальмування електронного пучка виникають електромагнітні хвилі частотою понад $2 \cdot 10^{17}$ Гц);
- 3) викликають світіння деяких речовин і матеріалів (так званих люмінофорів);

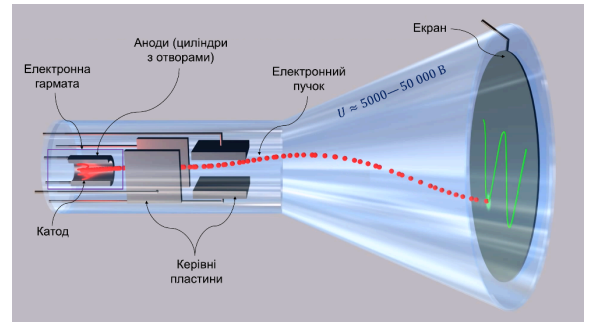
4) відхиляються електричним і магнітним полями (електронно-променевої трубки).

4. Електронно-променева трубка

Електронно-променева трубка – це вакуумний пристрій з керованим електронним пучком і спеціальним екраном, який світиться в місцях потрапляння електронів.

Принципова будова електронно-променевої трубки:

Електронна гармата у горловині трубки – катод, що випускає інтенсивний пучок електронів. Спеціальна система циліндрів з отворами (анода) фокусує цей пучок, робить його вузьким. Коли електрони потрапляють на **екран**, він починає світитися. Керувати потоком електронів можна за допомогою **вертикальних** або **горизонтальних пластин**.



IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. При якій найменшій швидкості електрон може вилетіти із срібла?

Дано:

$$A_{\text{вих}} = 4,3 \text{ еВ}$$

$$= 4,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$= 6,88 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$v = ?$

Розв'язання

$$A_{\text{вих}} = \frac{m_e v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2A_{\text{вих}}}{m_e}}$$

$$[v] = \sqrt{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \cdot \text{м}}{\text{кг}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,88 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 1,2 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

Відповідь: $v \approx 1,2 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$.

2. Яку прискорюючу різницю потенціалів пройшов електрон у вакуумі, якщо він розігнався до швидкості $3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ зі стану спокою?

Дано:

$$v = 3 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$\Delta\varphi = ?$

Розв'язання

$$A_{\text{вих}} = |e| \Delta\varphi \quad E_k = \frac{m_e v^2}{2}$$

$$A_{\text{вих}} = E_k$$

$$|e| \Delta\varphi = \frac{m_e v^2}{2} \Rightarrow \Delta\varphi = \frac{m_e v^2}{2|e|}$$

$$[\Delta\varphi] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Дж}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \text{В}$$

$$\Delta\varphi = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 25,6 \text{ (В)}$$

Відповідь: $\Delta\varphi \approx 25,6 \text{ В}$.

3. У телевізійному кінескопі прискорююча анодна напруга дорівнює 16 кВ, а відстань від анода до екрана становить 30 см. За який час електрони проходять цю відстань?

Дано:

$$U = 16 \text{ кВ}$$

$$= 1,6 \cdot 10^4 \text{ В}$$

$$l = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$t = ?$$

Розв'язання

$$A_{\text{вих}} = |e|U \quad E_k = \frac{m_e v^2}{2}$$

$$A_{\text{вих}} = E_k$$

$$|e|U = \frac{m_e v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2|e|U}{m_e}}$$

$$t = \frac{l}{v} = l \sqrt{\frac{m_e}{2|e|U}}$$

$$[t] = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{кг}}{\text{Кл} \cdot \text{В}}} = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{кг}}{\text{Дж}}} = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{кг}}{\text{Н} \cdot \text{м}}} = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{кг}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м}}} = \text{с}$$

$$t = 0,3 \cdot \sqrt{\frac{9,1 \cdot 10^{-31}}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^4}} \approx 4 \cdot 10^{-9} \text{ (с)}$$

Відповідь: $t \approx 4 \text{ нс}$.

4. Пучок електронів з енергією 3000 еВ рухається у вакуумі паралельно пластинам незарядженого конденсатора. Визначте вертикальне зміщення цього пучка на виході з конденсатора, якщо на конденсатор подати напругу 600 В. Довжина пластин конденсатора 6 см, а відстань між ними 3 см.

Дано:

$$E_k = 3000 \text{ еВ}$$

$$= 3000 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$= 4,8 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$$

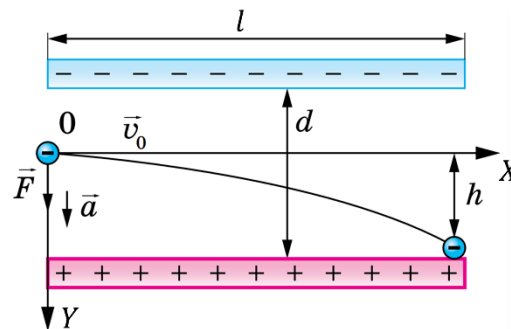
$$U = 600 \text{ В}$$

$$l = 6 \text{ см} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$d = 3 \text{ см} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$h = ?$$

Розв'язання

Розв'яжемо задачу координатним методом. По осі OX електрон рухається за інерцією з постійною швидкістю $v_0 = \text{const}$.

$$E_k = \frac{m_e v_0^2}{2} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}}$$

Рівняння руху електрона відносно осі OX має вигляд:

$$x = x_0 + v_{0x}t \quad x_0 = 0$$

$$x = v_0 t = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}} t$$

Рівняння руху електрона відносно осі OY має вигляд:

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y}{2}t^2 \quad y_0 = v_{0y} \quad v_{0y} = 0$$

$$y = \frac{at^2}{2} \quad a = \frac{F}{m_e} = \frac{|e|E}{m_e} \quad E = \frac{U}{d}$$

$$y = \frac{|e|Ut^2}{2m_e d}$$

За умовою задачі $x = l$, коли $y = h$, тоді маємо два рівняння:

$$l = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}} t \quad \Rightarrow \quad t^2 = \frac{l^2 m_e}{2E_k}$$

$$h = \frac{|e|Ut^2}{2m_e d} = \frac{|e|U \cdot \frac{l^2 m_e}{2E_k}}{2m_e d} = \frac{|e|Ul^2}{4dE_k}$$

$$[h] = \frac{\text{Кл} \cdot \text{В} \cdot \text{м}^2}{\text{м} \cdot \text{Дж}} = \frac{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{В} \cdot \text{м}}{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} = \text{м}$$

$$h = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 600 \cdot (6 \cdot 10^{-2})^2}{4 \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 4,8 \cdot 10^{-16}} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

Відповідь: $h = 6 \text{ мм.}$

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Що являє собою електричний струм у вакуумі?
2. У чому полягає явище електронної емісії?
3. За якої умови електрон може залишити поверхню провідника?
4. Опишіть процес утворення електронної хмари.
5. Чому вакуумний діод має односторонню провідність?
6. Де застосовують вакуумні діоди?
7. Назвіть основні властивості електронних пучків. Де їх застосовують?
8. Назвіть основні частини електронно-променевої трубки. Якими є їхні функції?

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 8, Вправа № 8 (2, 3)

Додаткові задачі

1. Швидкість електрона під час виходу з поверхні катода, покритого оксидом барію, зменшилася в два рази. Визначити швидкість електрона до і після виходу з катода.

Дано:

$$A_{\text{вих}} = 1 \text{ еВ}$$

$$= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$v_1 = 2v_2$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

Розв'язання

$$A_{\text{вих}} = E_{k1} - E_{k2}$$

$$A_{\text{вих}} = \frac{m_e v_1^2}{2} - \frac{m_e v_2^2}{2} = \frac{m_e 4v_2^2}{2} - \frac{m_e v_2^2}{2} = \frac{3m_e v_2^2}{2}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2A_{\text{вих}}}{3m_e}}$$

$v_1 - ?$

$v_2 - ?$

$$[v_2] = \sqrt{\frac{Дж}{кг}} = \sqrt{\frac{H \cdot M}{кг}} = \sqrt{\frac{кг \cdot \frac{м}{с^2} \cdot M}{кг}} = \frac{м}{с}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{3 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 0,34 \cdot 10^6 \left(\frac{м}{с} \right)$$

$$v_1 = 2 \cdot 0,34 \cdot 10^6 \frac{м}{с} = 0,68 \cdot 10^6 \frac{м}{с}$$

Відповідь: $v_1 \approx 680 \frac{км}{с}$; $v_2 \approx 340 \frac{км}{с}$.