

# Дідовець В'ячеслав Євгенович

Група ДК-09-19- КП  
Група ДК-09-19- КФ  
Група ДК-09-19- КМ

## Заняття (практичне) № 15.15

**Тема:** ЕЛЕКТРОДИНАМІКА. Електричний струм у вакуумі. Електровакуумні прилади.

У 1883 р. Американський винахідник Томас Едісон, намагаючись збільшити термін служби свого винаходу — електричної лампи розжарювання, увів у балон лампи, з якого було відкачано повітря, електрод. Приєднавши електрод до позитивного полюса джерела струму, а нитку розжарення лампи — до негативного, Едісон спостерігав появу струму. А от коли електрод був з'єднаний з негативним полюсом джерела, а нитка розжарення — з позитивним полюсом, струм не виявлявся.

### Термоелектронна емісія

Щоб розібратися, що являє собою струм у вакуумі, спочатку визначимося з поняттям вакууму.

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

Розрізняють *низький, середній, високий (глибокий) вакууми*. Коли кажуть про електричний струм у вакуумі, мають на увазі **високий (глибокий) вакуум** — стан газу, за якого довжина вільного пробігу молекул газу більша за лінійні розміри ємності, в якій міститься газ.

Щоб у вакуумі існував струм, слід помістити у вакуумі джерело вільних заряджених частинок, наприклад електронів. Найбільша концентрація вільних електронів — у металах. Однак вільні електрони зазвичай не можуть залишити поверхню металу — вони утримуються силами кулонівського притягання з боку позитивних йонів. Для подолання цих сил електрону необхідно мати певну енергію.

Енергію, яку необхідно мати електрону, щоб залишити метал, називають роботою виходу  $A_{\text{вих}}$ .

Електрон може залишити метал, якщо його кінетична енергія  $E_k$  буде більшою за роботу виходу або буде дорівнювати їй:

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

Роботу виходу електронів вимірюють в *електрон-вольтах* ( $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ ), визначають експериментально для кожного металу окремо та заносять до довідкових таблиць.

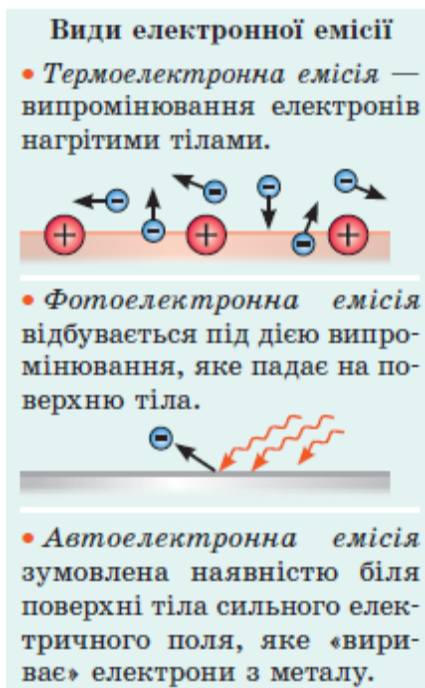
*Процес випромінювання електронів із поверхні металів називають електронною емісією*. Залежно від того, як була передана електронам необхідна енергія, розрізняють кілька видів емісій (див. колонку зліва). Щоб створити електричний струм у вакуумі,

найчастіше використовують *термоелектронну емісію* — процес випромінювання електронів нагрітими тілами.

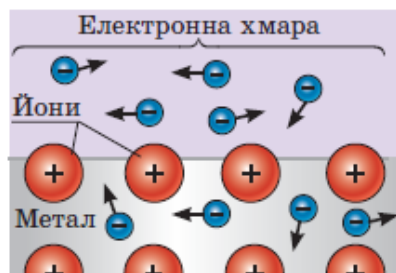
У нагрітому металі є величезна кількість швидких електронів, які безперервно з нього вилітають. Саме тому біля поверхні металу утворюється хмара вільних електронів — електронна хмара, що має негативний заряд, а сама поверхня металу набуває позитивного заряду. Під впливом електричного поля, створеного електронною хмарою та поверхнею металу, деякі електрони повертаються в метал. У стані рівноваги кількість електронів, що залишили метал, дорівнює кількості електронів, що повернулися в нього. При цьому чим вища температура металу, тим більша густина електронної хмари.

**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).



Погодьтеся: описана «поведінка» електронів дуже нагадує «поведінку» молекул біля поверхні рідини, а електронна хмара асоціюється з насиченою парою біля поверхні рідини.

### Електричний струм у вакуумі. Вакуумний діод

Ви вже знаєте, що для існування струму необхідно виконання двох умов: *наявність вільних заряджених частинок і наявність електричного поля*.

Для створення цих умов у скляний балон поміщують два електроди (катод і анод) і відкачують із балона повітря. Катод нагрівають, використовуючи нитку розжарення — тонкий дрот із тугоплавкого металу, підключений до джерела струму. У результаті з поверхні катода вилітають електрони. Щоб збільшити емісію електронів, катод покривають шаром оксидів лужноземельних металічних елементів (Барію, Стронцію, Калію тощо), для яких робота виходу електронів є невеликою. На катод подають негативний потенціал, а на анод — позитивний (*пряме ввімкнення*). Електрони, що вилетіли з катода, потрапляють в електричне поле між катодом і анодом і починають рухатися напрямлено, створюючи електричний струм (Рис.8.2).

*Електричний струм у вакуумі* являє собою напрямлений рух вільних електронів, отриманих у результаті електронної емісії.

Пристрій, що складається зі скляного балона, з якого відкачано повітря, і розташованих у балоні двох електродів (анода і підігрівного катода), називають вакуумним (ламповим) діодом (рис. 8.3). Очевидно: якщо подати на катод позитивний потенціал, а на анод — негативний (зворотне ввімкнення), то електрони, що вилітають із катода, будуть відкидатися полем назад, на катод, і струму в колі не буде. Таким чином, вакуумний діод має *однобічну провідність* (рис. 8.4).

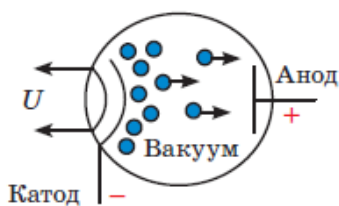


Рис. 8.2. Термоелектрони (електрони, що вилетіли з металу в ході термоелектронної емісії), рухаючись від катода до анода, створюють електричний струм

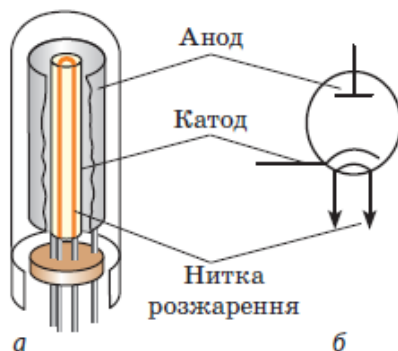


Рис. 8.3. Вакуумний діод: а — будова; б — позначення на схемі

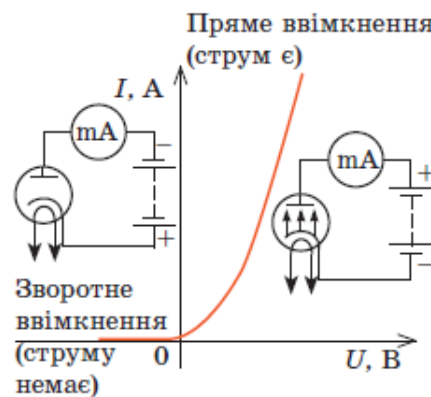


Рис. 8.4. Вольт-амперна характеристика (ВАХ) вакуумного діода. *Пряме ввімкнення*: зі збільшенням напруги між електродами сила струму швидко зростає. *Зворотне ввімкнення*: сила струму дорівнює нулю

Свого часу однобічну провідність вакуумного діода активно використовували в радіоелектроніці для перетворення змінного струму на пульсуючий. Якщо між катодом і анодом увімкнути джерело змінного струму, то протягом першого півперіоду діод пропускати електричний струм, а протягом другого півперіоду електрони відштовхуватимуться від анода і струму в лампі не буде. Отже, струм у колі буде незмінного напрямку, але пульсуючим. У сучасній електроніці замість лампових (вакуумних) діодів використовують напівпровідникові (Рис.8.5).

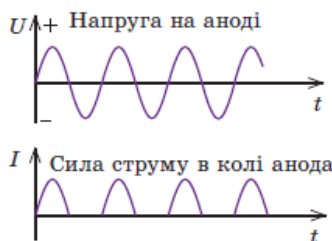


Рис.8.5. Використання вакуумного діода для перетворення змінного струму на пульсуючий

### Зварювання у відкритому космосі

25 липня 1984 р. радянські космонавти *Володимир Джанібеков* і *Світлана Савицька* вийшли у відкритий космос і протягом трьох годин здійснювали перше космічне зварювання в умовах глибокого вакууму.

Зварювальний апарат був розроблений і створений в *Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона НАНУ*. апарат дозволяв здійснювати зварювання, спаювання, різання і нагрівання металу. Ці операції виконувалися короткофокусною електронно-променевою гарматою масою 2,5 кг, яку слід було тримати в руці.

## 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** — *потік електронів, які швидко рухаються.*

*Властивості електронних пучків:*

- 1) спричиняють нагрівання тіл у разі потрапляння на їх поверхню;
- 2) викликають появу рентгенівського випромінювання в разі швидкого гальмування;
- 3) викликають світіння деяких речовин і матеріалів (так званих люмінофорів);
- 4) відхиляються електричним і магнітним полями.

Першу властивість використовують для плавлення надчистих металів, для зварювання, спаювання та різання металів у вакуумі. Другу властивість використовують у рентгенівських трубках: під час різкого гальмування електронного пучка виникають електромагнітні хвилі частотою понад  $2 \cdot 10^{17}$  Гц. Третю і четверту властивості використовують в *електроннопроменевих трубках* — вакуумних пристроях з керованим електронним пучком і спеціальним екраном, який світиться в місцях потрапляння електронів. Електронно-променева трубка тривалий час була основним елементом *осцилографа* — пристрою для дослідження змінних процесів в електричних колах.

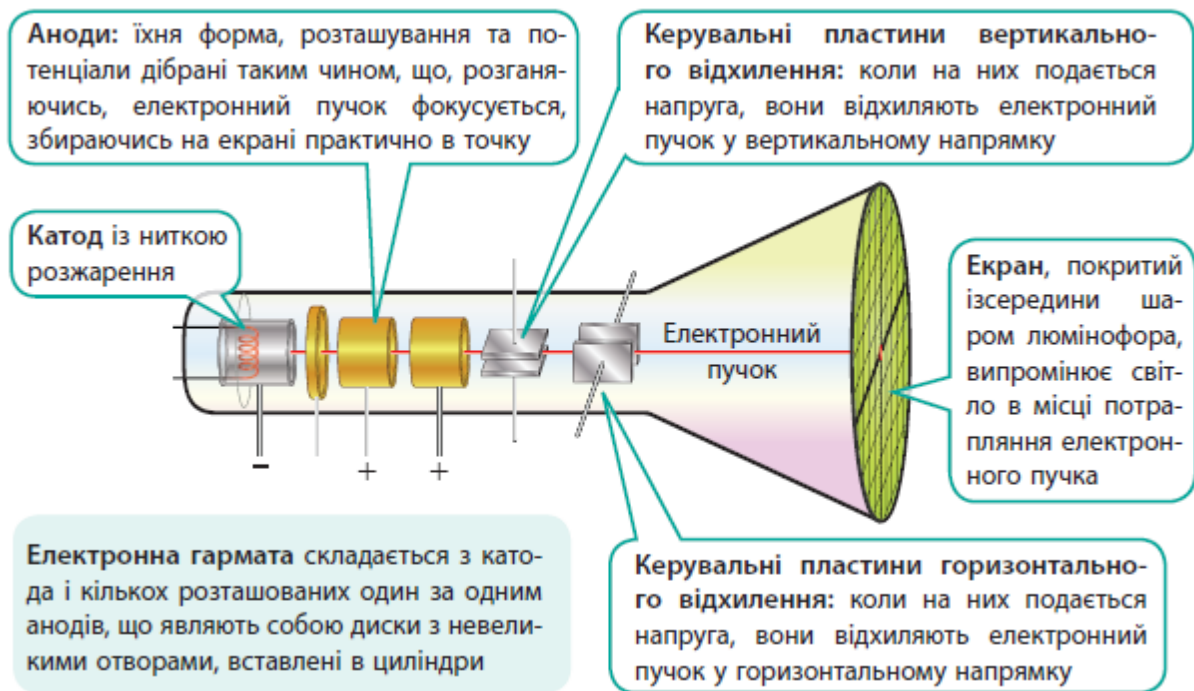


Рис.8.6. Електроннопроменева трубка.