

## § 17. СТРУМ У ВАКУУМІ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ



У вакуумі відсутні заряджені частинки, а отже, він є діелектриком. Тобто для одержання електричного струму у вакуумі необхідно створити певні умови, які допоможуть одержати заряджені частинки. Які ж ці умови і що ж собою являє струм у вакуумі?



### Термоелектронна емісія

Щоб розібратися, що являє собою струм у вакуумі, необхідно визначитися з поняттям вакууму.

*Вакуум — це стан газу за тиску менш ніж атмосферний. Розрізняють низький, середній та високий вакуум.*

Коли кажуть про струм у вакуумі, то мають на увазі *високий вакуум*, тобто такий стан газу, за якого довжина вільного пробігу молекули (атома) суттєво більша за лінійні розміри посудини, в якій міститься газ.

Щоб у вакуумі існував струм, слід помістити у вакуум джерело вільних заряджених частинок, наприклад електронів. Найбільша

концентрація вільних електронів — у металах. Однак за кімнатної температури вони не можуть залишити метал, бо втримуються в ньому силами кулонівського притягання до позитивних йонів. Для подолання цих сил електрону необхідно витратити певну енергію.

*Енергію, яку необхідно витратити електрону, щоб залишити поверхню металу, називають роботою виходу.*

Якщо кінетична енергія електрона буде більшою або дорівнюватиме роботі виходу  $\left( \frac{m_e v^2}{2} \geq A_{\text{вих}} \right)$ , то він залишить поверхню металу та стане вільним.

*Процес випускання електронів із поверхні металів називають емісією.*

Залежно від того, як була передана електрону необхідна енергія, розрізняють кілька видів емісій. Один із них — *термоелектронна емісія*.

**Термоелектронна емісія** — процес випускання електронів нагрітими тілами.

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 хмарию 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. Погодьтеся, що поведінка електронів дуже нагадує поведінку молекул біля поверхні рідини, а електронна хмара асоціюється з насиченою парою коло поверхні рідини.

## 2 Що собою являє електричний струм у вакуумі

Ви вже знаєте, що для існування струму необхідне виконання двох умов: наявність вільних заряджених частинок; наявність електричного поля.

Для створення цих умов у балон поміщують два електроди (катод і анод) та відкачують із цього балона повітря. Катод нагрівають, використовуючи тонкий дротяний волосок із тугоплавкого металу (волосок розжарення), підключений до джерела струму. У результаті з поверхні катода вилітають електрони. Для збільшення їх емісії катод покривають шаром оксидів лужноземельних металів (барію, стронцію, калію та ін.). На катод подають негативний потенціал, а на анод — позитивний. Електрони, що вилетіли з катода, потрапляють в електричне поле між двома електродами й починають рухатися напрямлено, створюючи електричний струм.

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



3

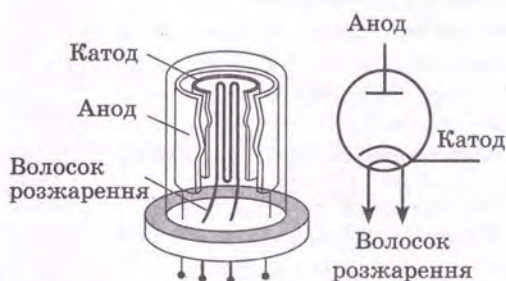
**Будова та принцип дії вакуумного діода**

Рис. 17.1. Вакуумний діод: а — будова;  
б — схематичне позначення

Явище термоелектронної емісії лежить в основі принципу дії різних електронних приладів. Найпростіший з них — *вакуумний (ламповий) діод* (рис. 17.1). Цей прилад складається зі скляного балона, у якому містяться два електроди: катод і анод.

Очевидно: якщо подати на катод позитивний потенціал, а на анод — негативний, то електрони, що випаровуватимуться з катода, будуть відкидатися полем назад на катод і струму в колі не буде. Таким чином, вакуумний діод, як і напівпровідниковий, має *однобічну провідність*.

4

**Які властивості мають електронні пучки**

Якщо в аноді електронної лампи створити отвір, то частина електронів, прискорених електричним полем, влетить у цей отвір і створить за анодом електронний пучок.

*Електронні пучки являють собою потік електронів, які швидко рухаються.*

*Властивості електронних пучків:* 1) викликають нагрівання тіл у разі потрапляння на їх поверхню; 2) викликають появу рентгенівського випромінювання в разі гальмування в речовині; 3) викликають світіння деяких речовин та матеріалів (так званих люмінофорів); 4) відхиляються електричним полем; 5) відхиляються магнітним полем.

Властивість 1 використовують під час плавлення надчистих металів у вакуумі, властивість 2 — у рентгенівських трубках, властивості 3–5 — в електронно-променевих трубках.

5

**Електронно-променева трубка**

На явищі термоелектронної емісії базується принцип дії ще одного пристрою — *електронно-променевої трубки* — фізичного пристрою, який *перетворює електричні сигнали на світлові* (рис. 17.2).

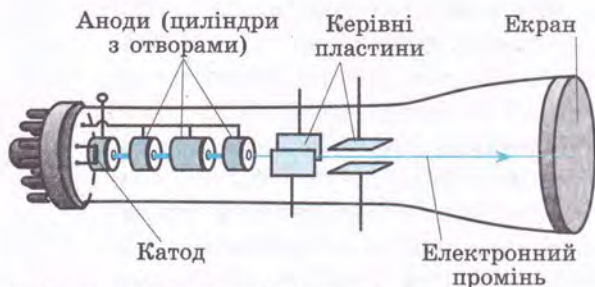


Рис. 17.2. Принципова будова електронно-променевої трубки

Електронно-променева трубка являє собою вакуумний балон, одна зі стінок якого слугує екраном. Екран покритий шаром люмінофора — речовини, що світиться, коли на неї потрапляє пучок електронів.

На протилежному від екрана кінці трубки розташована *електронна гармата*, призначена для формування



електронного променя. Електронна гармата складається з *катода*, *керівних електродів* і кількох розташованих один за одним *анодів*, що являють собою диски, вставлені в циліндри з невеликими отворами. Форма, розташування та потенціали анодів дібрані таким чином, що електронний пучок фокусується, збираючись на екрані практично в точку. Чим краще сфокусований пучок, тим чіткішим виходить зображення на екрані.

Між катодом і першим анодом створюється потужне електричне поле (різниця потенціалів може сягати кількох тисяч вольтів). Електрони, розігнані до великих швидкостей і сфокусовані у вузький пучок, потрапляють в електричне поле *керівних пластин* (або електромагнітів). Якщо напруга подається на вертикальні пластини, то електронний пучок відхиляється по горизонталі, якщо на горизонтальні — то по вертикалі. Таким чином, подаючи різну напругу на пластини, можна керувати електронним пучком. Оскільки маса електронів дуже мала, то вони практично миттєво реагують на зміну поля (електростатичного або магнітного, залежно від того, електричною чи магнітною є керівна система).

Екрани на електронно-променевої трубках (монітори) протягом багатьох років безперервно вдосконалювалися — збільшувалися їхня контрастність і колірна насиченість.

Прагнення зменшити габарити моніторів, зробити їх портативними привело до створення плоских дисплеїв.



### Підбиваємо підсумки

Для створення електричного струму у вакуумі необхідне джерело заряджених частинок, у ролі якого використовують металеві провідники. Енергію, яку має витратити електрон, щоб залишити поверхню металу, називають роботою виходу. Якщо кінетична енергія електрона

буде більшою або дорівнюватиме роботі виходу  $\left( \frac{m_e v^2}{2} \geq A_{\text{вих}} \right)$ , то він

залишає поверхню металу й стає вільним. Процес випускання електронів із поверхні металів називається емісією.

Термоелектронна емісія — процес випускання електронів нагрітими тілами.

Явище термоелектронної емісії набуло широкого застосування у вакуумних електронних приладах, наприклад у вакуумному діоді й електронно-променевої трубі.



### Контрольні запитання

1. Що собою являє 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 вакуумний діод?
7. Якими є основні властивості електронних пучків?
8. Назвіть основні частини електронно-променевої трубки. Якими є їхні функції?