

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

Завдання з дисципліни «Фізика і астрономія»

Заняття (практичне) № 14.13

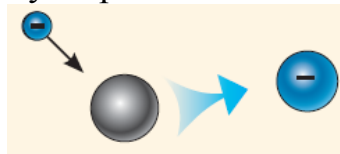
Тема: ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ГАЗАХ.

99 % речовин Всесвіту перебуває у стані *плазми*: у цьому стані — речовина в зорях і галактичних туманностях, плазмою заповнений міжзоряний простір. На Землі ми теж часто маємо справу з плазмою: газ перебуває у стані плазми і в каналі блискавки, і в язиках полум'я, і всередині рекламних трубок; процесами в навколоземній плазмі зумовлені магнітні бурі, полярні сяйва...

Плазма — це частково або повністю йонізований газ, у якому концентрації позитивних і негативних зарядів майже однакові.

За яких умов гази стають провідниками

На відміну від металів та електролітів гази складаються з електрично нейтральних атомів та молекул і за звичайних умов майже не містять вільних носіїв струму, тобто є діелектриками. А от якщо якось змусити електрон залишити атом, то в газі утворяться *позитивні йони* і вільні електрони; деякі електрони, у свою чергу, можуть приєднатися до нейтральних молекул і атомів — утворяться *негативні йони*.



Щоб змусити електрон залишити атом, необхідно надати йому певну мінімальну енергію — *енергію йонізації* (W_i), яка залежить від хімічної природи газу. Залежно від того, звідки береться ця енергія, розрізняють кілька видів йонізації.

Термічна йонізація: енергія, необхідна для йонізації, виділяється під час непружного зіткнення молекул, які за високої температури газу мають велику швидкість (Рис.7.1).

Йонізація випромінюванням: енергію, необхідну для йонізації, постачає в атом високочастотне електромагнітне випромінювання (Рис.7.2).

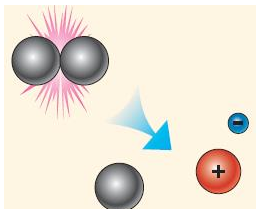


Рис.7.1

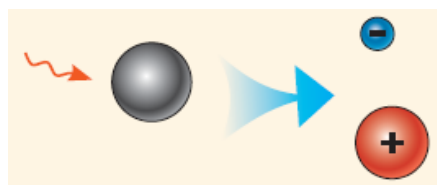


Рис.7.2

Якщо йонізований газ помістити в електричне поле, то позитивні йони рухатимуться в напрямку силових ліній поля, негативні йони та електрони — в протилежному напрямку (рис. 7.3). У газі виникне *електричний струм*.

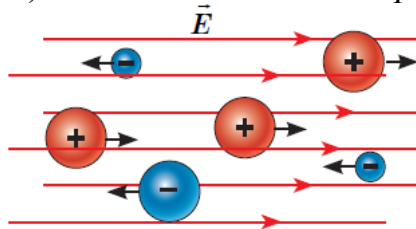


Рис. 7.3. В йонізованому газі за наявності електричного поля виникає напрямлений рух вільних заряджених частинок — електричний струм

Електричний струм у газах — газовий розряд — являє собою напрямлений рух вільних електронів, позитивних і негативних йонів.

Самостійний і несамостійний газові розряди

Досліди показують: якщо усунути причину, яка викликала йонізацію газу (прибрати пальник, вимкнути джерело випромінювання), то зазвичай газовий розряд припиняється. Це пояснюється кількома причинами.

1. Електрон і позитивний йон можуть об'єднатися, перетворившись на нейтральну молекулу (атом). Цей процес називають *рекомбінацією*.

2. Вільні електрони поглинаються анодом.

3. Вільні йони біля електродів перетворюються на нейтральні частинки: негативні йони «віддають» «зайві» електрони аноду, а позитивні йони «забирають» електрони, яких їм «бракує», у катода. Після цього нейтральні частинки (молекули й атоми) повертаються в газ.

Газовий розряд, який відбувається тільки під час дії зовнішнього йонізатора, називають *несамостійним газовим розрядом*.

Здавалося б, що збільшення напруги між пластинами обов'язково приведе до збільшення сили струму, навіть якщо інтенсивність йонізатора не змінюється. Але це не завжди так. Графік залежності сили розрядного струму від напруги між електродами за незмінних характеристик йонізатора наведений на рис. 7.4. На графіку можна виділити кілька характерних ділянок.

Ділянка 1 (на графіку виділено блакитним). Залежність сили струму від напруги підкорюється закону Ома.

Ділянка 2 (виділено синім). Напруга збільшується, а сила струму залишається незмінною. Річ у тім, що в сильному електричному полі всі заряджені частинки, які створює йонізатор, долітають до електродів. *Найбільшу силу струму, що є можливою внаслідок дії даного йонізатора, називають струмом насичення*.

Ділянка 3 (виділено фіолетовим). Сила струму різко зростає за незначного збільшення напруги. З курсу фізики 8-го класу ви знаєте, що це відбувається завдяки *йонізації газу електронним ударом*, унаслідок чого кількість вільних заряджених частинок лавиноподібно збільшується (рис. 7.5).

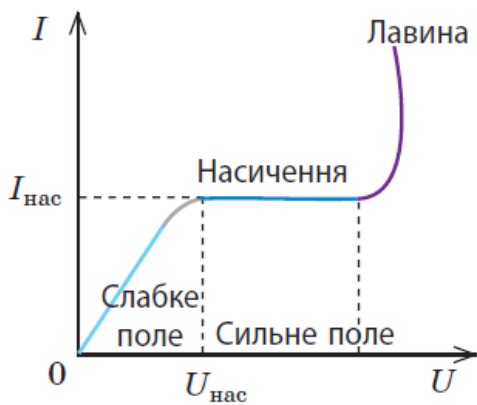


Рис. 7.4. Вольт-амперна характеристика (ВАХ) газового розряду

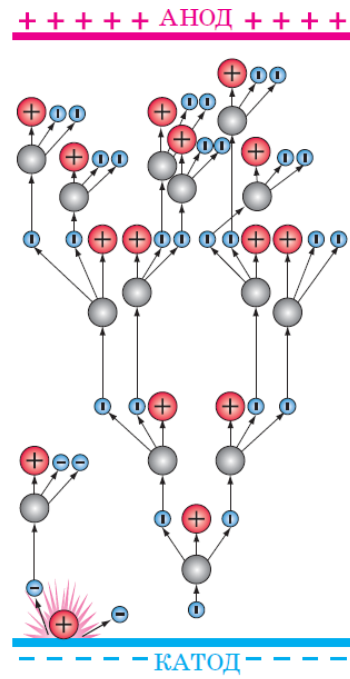


Рис.7.5.

Схема розвитку електронної лавини зображена на Рис.7.5. Вільний електрон, прискорений електричним полем, зіштовхується з атомом (молекулою) і «вибиває» ще один електрон. розігнавшись, два електрони звільняють ще два, і т. д.

Електрони, що утворилися під час ударної йонізації, прямують до анода і в решті-решт поглинаються ним. Проте газовий розряд може й не припинитися, навіть якщо прибрати йонізатор. Одним із джерел нових електронів є поверхня катода: позитивні йони «бомбардують» катод і вибивають із нього електрони — відбувається *емісія (випромінювання) електронів з поверхні катода*.

Газовий розряд, який відбувається без дії зовнішнього йонізатора, називають *самостійним газовим розрядом*.

Залежно від тиску та температури газу, конфігурації електродів і напруги між ними розрізняють чотири види самостійних газових розрядів: *іскровий, тліючий, дуговий, коронний*.

Види самостійних газових розрядів

<p>Іскровий газовий розряд</p>  	<p>Виникає за атмосферного тиску та великої напруги між електродами. Має вигляд яскравих зигзагоподібних смуг, що розгалужуються, триває лише кілька десятків мікросекунд і зазвичай супроводжується звуковими ефектами (потріскування, тріск, грім тощо). Використовують у запальних свічках бензинових двигунів, для обробки особливо міцних металів, для запобігання перенапрузі ліній електропередачі (іскрові розрядники). Приклад грандіозного іскрового розряду в природі — блискавка.</p>
<p>Тліючий газовий розряд</p>  	<p>Виникає за невеликої напруги між електродами і низького тиску (десяті й соті частки міліметра ртутного стовпа): за зазначеного тиску відстань між молекулами є такою, що навіть у слабкому електричному полі електрони розганяються до такої швидкості, що набувають енергії, достатньої для ударної йонізації. Використовують у лампах денного світла (люмінесцентних трубках), кольорових газорозрядних трубках (колір світіння визначається природою газу). Найважливіша галузь застосування — квантові генератори світла (газові лазери).</p>
<p>Дуговий газовий розряд (електрична дуга)</p>  	<p>Виникає за високої температури (понад 4000 °С) і майже за будь-якого тиску. Являє собою яскраве дугоподібне полум'я. За такої високої температури з поверхні катода безперервно «випаровуються» електрони, а в стовпі розпеченого газу відбувається термічна йонізація. Висока температура катода й анода підтримується бомбардуванням електродів позитивними і негативними йонами та електронами, прискореними електричним полем. Використовують у металургії (електропечі, зварювання жаром електричної дуги металів), як потужне джерело світла в прожекторах тощо.</p>
<p>Коронний газовий розряд</p>  	<p>Виникає за тиску порядку атмосферного в сильному ($E > 500$ кВ/м), різко неоднорідному електричному полі. Такі поля формуються поблизу електродів із великою кривизною поверхні (вістря, тонкий дріт тощо). Являє собою слабе фіолетове світіння у вигляді корони (пучків, пензликів). Використовують для очищення газів (електрофільтри), в лічильниках елементарних частинок (лічильники Гейгера — Мюллера); на виникненні цього розряду ґрунтується дія блискавковідводу. У природі зазвичай спостерігається перед грозою або під час грози на гострих кінцях високих предметів (веж, щогл, вершин скал тощо); має ще одну назву — «вогні святого Ельма».</p>

Зверніть увагу! Електрон, зіштовхнувшись з атомом, не завжди вибиває з нього електрон — також він може передати електронній оболонці атома частину своєї енергії.

Атом збуджується, тобто його електронна оболонка переходить у стан із більшим рівнем енергії. Проте у збудженому стані атом перебуває дуже короткий час (кілька наносекунд) — майже миттєво він повертається в основний стан, випромінюючи надлишкову енергію у вигляді певної «порції» (кванта) світла. Оскільки під час газового розряду збуджується величезна кількість атомів, *газовий розряд зазвичай супроводжується світінням.*

Приклад розв'язування задач

Задача. Яку найменшу швидкість руху повинен мати електрон, щоб йонізувати атом Гідрогену? Енергія йонізації атома Гідрогену дорівнює 13,6 еВ (*електронвольт* — позасистемна одиниця енергії: $1 \text{ еВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$).

Аналіз фізичної проблеми. Щоб йонізувати атом Гідрогену, електрон повинен мати кінетичну енергію не меншу, ніж енергія йонізації цього атома. Найменшу швидкість електрона знайдемо, користуючись рівністю $E_k = W_i$.

Дано:

$$W_i = 13,6 \text{ еВ} = 13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 21,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

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

v — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

За означенням кінетичної енергії: $E_k = \frac{m_e v^2}{2}$, де m_e — маса електрона. Оскільки $E_k = W_i$, то $\frac{m_e v^2}{2} = W_i \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2W_i}{m_e}}$.

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[v] = \sqrt{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{кг}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}; v = \sqrt{\frac{2 \cdot 21,8 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 2,2 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right).$$

Відповідь: $v \approx 2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.