

Урок 14 Електричний струм у газах

Мета уроку:

Навчальна: Надати уявлення про природу струму в газах; розкрити фізичний зміст несамостійного та самостійного розрядів; ознайомити учнів з різними видами самостійного розряду в газах, з основними властивостями четвертого стану речовини – плазмою і технічним застосуванням газового розряду.

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

Ми знаємо, що гази є діелектриками (в них немає вільних заряджених частинок).

За яких умов газ із діелектрика може перетворитися на провідник?

III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Електричний струм у газах

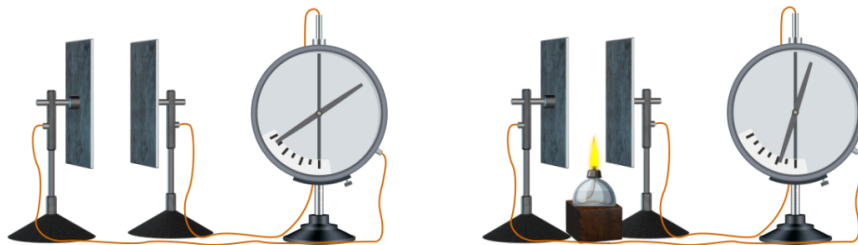
Проведемо дослід

Експеримент із вивчення провідності газів.

За звичайних умов повітря не проводить електричного струму.

Помістимо між металевими пластинами запалену спиртівку – стрілка електроскопа відхилиться.

У разі внесення в повітряний проміжок запаленої спиртівки повітря стає провідником.



Проблемне питання

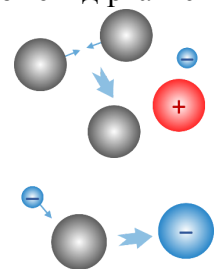
- Чому через повітря почав проходити електричний струм?

Гази складаються з електрично нейтральних атомів і молекул і за звичайних умов майже не містять вільних носіїв струму (за звичайних умов повітря є ізолятором).

Полум'я спиртівки нагріває повітря, й кінетична енергія теплового руху атомів і молекул повітря збільшується настільки, що в разі їх зіткнення від молекули або атома може відірватися електрон і стати вільним. *Втративши електрон, молекула (або атом) стає позитивним іоном.*

Здійснюючи тепловий рух, електрон може зіткнутися з нейтральною частинкою і «прилипнути» до неї – утвориться негативний йон.

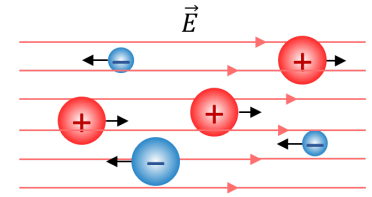
Йонізація газів – це процес утворення в газі позитивних і негативних йонів та вільних електронів із нейтральних молекул і атомів.



Проблемне питання

- Що ж відбудеться, якщо йонізований газ помістити в електричне поле?

Якщо йонізований газ помістити в електричне поле, то внаслідок дії цього поля *позитивні йони рухатимуться в напрямку силових ліній поля, а електрони та негативні йони – в протилежному напрямку.*



Електричний струм у газах (газовий розряд) – це напрямлений рух вільних електронів, позитивних і негативних йонів.

2. Самостійний і несамостійний газові розряди

Проблемне питання

- Чому після припинення дії йонізатора газовий розряд припиняється?

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

1. *Рекомбінація газів* – це процес за якого електрон і позитивний йон можуть об'єднатися, перетворившись на нейтральну молекулу (атом).

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 катод. Після цього нейтральні частинки (молекули й атоми) повертаються в газ.



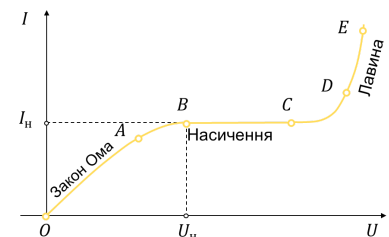
Несамостійний газовий розряд – це газовий розряд, який відбувається тільки за дії зовнішнього йонізатора.

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) газового розряду

Ділянка OA. Залежність сили струму від напруги підкорюється закону Ома.

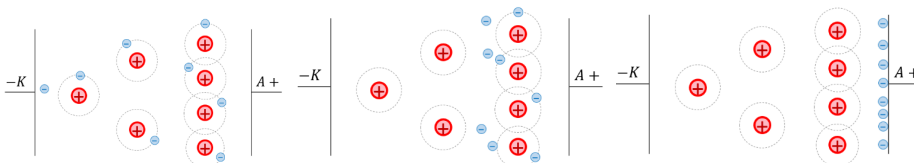
Ділянка AB. Струм зростає повільніше від напруги – тут залежність нелінійна й закон Ома не виконується.

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



Ділянка CD. Сила струму різко зростає за незначного збільшення напруги. Це відбувається завдяки **йонізації газу електронним ударом**, унаслідок чого кількість вільних заряджених частинок лавиноподібно збільшується.

Електрони, що утворилися під час ударної йонізації, прямують до анода і врешті-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 нові електрони – відбувається *емісія (випромінювання) електронів з поверхні катода.*



Самостійний газовий розряд – це газовий розряд, який відбувається без дії зовнішнього йонізатора.

3. Види самостійних газових розрядів

Проблемне питання

- Де самостійний газовий розряд зустрічається у нашому житті?

Залежно від властивостей і стану газу, характеру й розміщення електродів, а також від прикладеної до електродів напруги виникають різні *види самостійного розряду (іскровий, коронний, дуговий, тліючий)*

Запропонувати учням накреслити таблицю та заповнити її разом з вами (користуючись презентацією) або самостійно використовуючи § 7.

Назва розряду	Вигляд розряду	Умова існування розряду	Прояв чи застосування
Іскровий	Має вигляд яскравих зигзагоподібних смужок, що розгалужуються, триває всього кілька десятків мікросекунд і зазвичай супроводжується характерними звуковими ефектами	Виникає за атмосферного тиску та великої напруги між електродами.	Блискавка. Розряд між кондукторами електрофорної машини. Іскра у свічці бензинового двигуна. Обробка особливо міцних металів.
Тліючий	Світіння розрідженого газу	Спостерігається за низьких тисків (десяті й соті частки міліметра ртутного стовпа) і напруги між електродами в кілька сотень вольтів.	Лампах денного світла (люмінесцентні трубки); кольорові газорозрядні трубки (колір світіння визначається природою газу); квантові генератори світла (газові лазери).
Дуговий	Яскраве дугоподібне полум'я	Виникає за високої температури між електродами, розведеними на невелику відстань	Металургія (електропечі, зварювання жаром електричної дуги металів); потужне джерело світла в прожекторах
Коронний	Слабке фіолетове світіння у вигляді корони	Утворюється в сильному електричному полі біля гострих виступів предметів	Очищення газів (електрофільтри); Лічильники елементарних частинок (лічильники Гейгера – Мюллера); ґрунтується дія блискавковідводу. Спостерігається під час грози на гострих кінцях високих предметів (веж, щогл, вершин скал тощо); має ще одну назву – «вогні святого Ельма».

4. Плазма

Розглядаючи газові розряди, ми вже фактично ознайомилися з новим для вас станом речовини – плазмою. Адже газ, у якому тече струм, – це вже не зовсім «звичайний» газ, який складається тільки з нейтральних атомів або молекул.

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

У газорозрядній трубці та газосвітній лампі, у комірках деяких сучасних плоских телевізорів ми маємо справу саме з плазмою. Ця плазма газового розряду є слабкоіонізованою – більшість атомів і молекул лишаються «неушкодженими» та нейтральними. А от у каналі блискавки та в розряді під час електрозварювання йонізація вже помітніша.

У земних умовах плазма зустрічається не так і часто. Тому її назвали четвертим станом речовини (після твердого, рідкого та газоподібного). Однак у масштабах Всесвіту саме плазма поза конкуренцією як перший (найбільш поширений) стан речовини! Саме в такому стані перебуває більшість зір і речовина в міжзоряному просторі.

На Землі ж саме з плазмою пов'язані головні надії на створення термоядерних реакторів, які відкриють для людства практично невичерпні джерела енергії.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАТЬ І ВМІНЬ

1. Чому заряджений електроскоп дуже швидко розряджається, якщо поряд з ним працює рентгенівська трубка?

Тому що рентгенівські промені йонізують молекули повітря.

2. Яку найменшу швидкість руху повинен мати електрон, щоб йонізувати атом Гідрогену? Енергія йонізації атома Гідрогену дорівнює 13,6 еВ.

Дано:

$$W_i = 13,6 \text{ еВ}$$

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

$$= 21,76 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

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

v – ?

Розв'язання

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

$$E_k = \frac{m_e v^2}{2}$$

$$\frac{m_e v^2}{2} = W_i \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2W_i}{m_e}}$$

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

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 21,76 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 2,2 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

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

3. При якій температурі T в повітрі буде повністю йонізовано плазму? Енергія йонізації молекул азоту $W_i = 2,5 \cdot 10^{-18}$ Дж. Енергія йонізації кисню менша.

Дано:

$$W_i = 2,5 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

T – ?

Розв'язання

Плазма називається повністю йонізованою, якщо йонізовані всі молекули. Для цього кінетична енергія молекули при температурі T повинна дорівнювати максимальній енергії йонізації W_i : $E_k = W_i$.

$$E_k = \frac{3}{2} kT$$

$$\frac{3}{2}kT = W_i \Rightarrow T = \frac{2W_i}{3k}$$

$$[T] = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{К}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{К}}} = \text{К} \quad T = \frac{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-18}}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} \approx 1,2 \cdot 10^5 \text{ (К)}$$

Відповідь: $T \approx 1,2 \cdot 10^5 \text{ К}$.

4. При якій напруженості поля розпочнеться самостійний розряд у водні, якщо енергія іонізації молекул дорівнює $2,5 \cdot 10^{-18}$ Дж, а середня довжина вільного пробігу 5 мкм? Яку швидкість мають електрони під час удару об молекулу?

Дано:

$$W_i = 2,5 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$$

$$d = 5 \text{ мкм}$$

$$= 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

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

$$E = ?$$

$$v = ?$$

Розв'язання

За рахунок роботи, яку виконує електричне поле, на довжині вільного пробігу електрон набуває кінетичної енергії, достатньої для йонізації атома водню:

$$A_{\text{ел}} = E_{\text{к}} = W_i$$

$$A_{\text{ел}} = F_{\text{ел}} d = |e|Ed$$

$$W_i = |e|Ed \Rightarrow E = \frac{W_i}{|e|d}$$

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

$$E = \frac{2,5 \cdot 10^{-18}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{-6}} = 3,125 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{В}}{\text{м}} \right)$$

$$E_{\text{к}} = \frac{m_e v^2}{2}$$

$$\frac{m_e v^2}{2} = W_i \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2W_i}{m_e}}$$

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

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-18}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 2,3 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

Відповідь: $E = 3,125 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$; $v \approx 2300 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

5. Відстань між електродами в трубці, заповненій паром ртуті, дорівнює 10 см. Яка середня довжина вільного пробігу електрона, якщо самостійний розряд настає при напрузі 600 В? Енергія іонізації пари ртуті $1,7 \cdot 10^{-18}$ Дж. Вважати, що поле однорідне.

Дано:

$$d = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$U = 600 \text{ В}$$

Розв'язання

За рахунок роботи, яку виконує електричне поле, на довжині вільного пробігу електрон набуває кінетичної енергії, достатньої для йонізації атома водню:

$$W_i = 1,7 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$$

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

$$d_0 - ?$$

$$A_{\text{ел}} = E_{\text{к}} = W_i$$

$$A_{\text{ел}} = F_{\text{ел}} d_0 = |e| E d_0 \quad E = \frac{U}{d}$$

$$W_i = |e| \frac{U}{d} d_0 \quad \Rightarrow \quad d_0 = \frac{W_i d}{|e| U}$$

$$[d_0] = \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}}{\text{Кл} \cdot \text{В}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{В}} = \text{м}$$

$$d_0 = \frac{1,7 \cdot 10^{-18} \cdot 0,1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 600} \approx 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

Відповідь: $d_0 \approx 1,8 \text{ мм}$.

6. Плоский конденсатор приєднали до джерела напруги 6 кВ. При якій відстані між пластинами настане пробій, якщо ударна іонізація повітря починається при напруженості поля 3 МВ/м?

Дано:

$$U = 6 \text{ кВ} = 6 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$E_i = 3 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$$

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

$$d - ?$$

Розв'язання

Пробій повітря станеться, якщо напруженість $E = \frac{U}{d}$ поля в конденсаторі буде дорівнює напруженості E_i поля, при якій виникає ударна іонізація повітря:

$$E_i = \frac{U}{d} \quad \Rightarrow \quad d = \frac{U}{E_i}$$

$$[d] = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{м}}} = \text{м} \quad d = \frac{6 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^6} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

Відповідь: $d = 2 \text{ мм}$.

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Чому за звичайних умов газ не проводить електричний струм?
2. Що таке йонізація? Які існують види йонізації?
3. Який розряд у газі називають самостійним? несамостійним?
4. Опишіть механізм ударної йонізації.
5. Опишіть основні види самостійних газових розрядів: за яких умов вони виникають; який мають вигляд; де їх застосовують.
6. Що таке плазма?

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 7, Вправа № 7 (2, 4)