

§ 21. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ГАЗАХ



Прочитавши назву параграфа, дехто з вас здивується: ми ж на початку розділу вивчали, що газ є діелектриками, а це означає, що в них немає вільних заряджених частинок. Тож про який електричний струм може йти мова?

Зауваження цілком слушне, але йшлося про те, що газ є діелектриками за звичайних умов. Однак існують умови, за яких газ може ставати провідником. Про те, коли це відбувається і що собою являє електричний струм у газах, йтиметься в цьому параграфі.

1 Проводимо експеримент

Складемо електричне коло з *потужного* джерела струму, гальванометра та двох металевих пластин (рис. 21.1, а). Пластини відсунуті одна від одної, отже, між ними є повітря. Замкнувши коло, побачимо, що стрілка гальванометра не відхиляється. А це означає, що в колі немає електричного струму або струм такий слабкий, що навіть чутливий гальванометр його не реєструє. Таким чином, можна зробити висновок: *за звичайних умов у повітрі немає вільних заряджених частинок і воно не проводить електричного струму.*

Помістимо між металевими пластинами запалену спиртівку і побачимо, що стрілка гальванометра відхиляється (рис. 21.1, б). Це означає, що в повітрі з'явилися вільні заряджені частинки і воно почало проводити електричний струм. З'ясуємо, що це за частинки, звідки і як вони з'явилися.

2 Знайомимося з механізмом провідності газів

Ви знаєте, що атом будь-якої речовини складається з позитивно зарядженого ядра та негативно заряджених електронів. Оскільки сумарний заряд електронів дорівнює заряду ядра, то атоми й молекули,

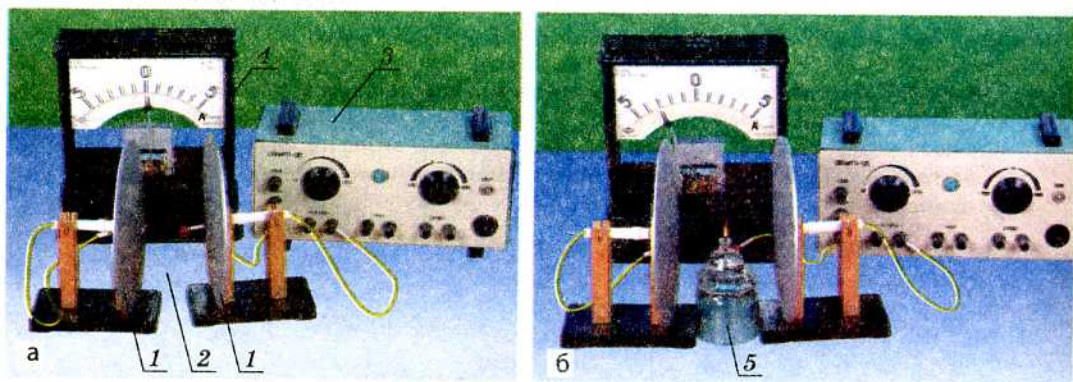


Рис. 21.1. Експеримент із вивчення провідності газів: 1 — металеві пластини; 2 — повітряний проміжок; 3 — потужне джерело струму; 4 — гальванометр; 5 — спиртівка. За звичайних умов повітря не проводить електричного струму (а); у разі внесення в повітряний проміжок запаленої спиртівки повітря стає провідником (б)

з яких складається повітря, електронейтральні. Тому за звичайних умов повітря є ізолятором.

Полум'я нагріває повітря, й кінетична енергія теплового руху молекул (атомів) повітря збільшується. Тепер у разі їхнього зіткнення електрон може відірватися від молекули (атома) та стати вільним. Втративши електрон, молекула (атом) стає позитивним іоном (рис. 21.2).

Під час теплового руху електрон, зіткнувшись з нейтральною молекулою чи атомом, може «прилипнути» до них — таким чином утвориться негативний іон (рис. 21.3).

Процес утворення позитивних і негативних іонів та вільних електронів з молекул (атомів) називають **йонізацією**.

У результаті йонізації в газі з'являються вільні заряджені частинки: електрони, позитивні і негативні йони. Такий газ називають **йонізованим**.

Якщо йонізований газ помістити в електричне поле, то під дією поля позитивні йони рухатимуться в напрямку пластини, з'єднаної з негативним полюсом джерела струму, а електрони та негативні йони — в напрямку пластини, з'єднаної з позитивним полюсом джерела. У просторі між пластинами виникне напрямлений рух вільних заряджених частинок — електричний струм.

Електричний струм у газах являє собою напрямлений рух вільних електронів, позитивних і негативних іонів.

Слід звернути увагу на той факт, що газ може стати йонізованим не тільки в результаті підвищення його температури, але й внаслідок впливу інших чинників. Наприклад, верхні шари атмосфери Землі йонізуються під дією космічних променів; сильний йонізаційний вплив на газ мають рентгенівські промені й т. д.

3 Даємо визначення несамоіонізованого газового розряду

Електричний струм у газах інакше називають **електричним** або **газовим розрядом**. Дослід показує, що якщо усунути причину, яка викликала йонізацію газу (прибрати пальник, вимкнути джерело рентгенівського випромінювання тощо), то газовий розряд зазвичай припиняється.

Газовий розряд, який відбувається тільки за наявності зовнішнього йонізатора, називають **несамоіонізованим газовим розрядом**.

З'ясуємо, чому після припинення дії йонізатора газовий розряд припиняється.

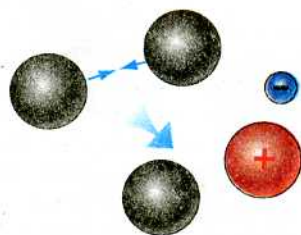


Рис. 21.2. Схема йонізації молекули газу. Втративши в результаті зіткнення електрон, молекула стає позитивним іоном



Рис. 21.3. Схема утворення негативних іонів у газі: електрон «прилипає» до нейтральної молекули

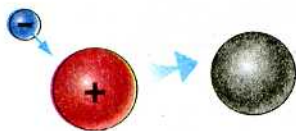


Рис. 21.4. Схема рекомбінації (відновлення) молекул газу

По-перше, у процесі теплового руху позитивний йон може наблизитися до електрона і притягти його, у результаті чого утвориться нейтральна молекула (атом) газу. Цей процес називають *рекомбінацією* (рис. 21.4). Унаслідок рекомбінації кількість вільних заряджених частинок у повітряному проміжку між пластинами зменшується.

По-друге, позитивний йон, досягши негативного електрода (катода), «забирає» з нього електрон і перетворюється на нейтральну молекулу (атом). Аналогічно негативний йон, досягши позитивного електрода (анода), віддає йому зайвий електрон і теж перетворюється на нейтральну молекулу (атом). Нейтральні молекули (атоми) повертаються в газ, а вільні електрони притягуються до анода й поглинаються ним.

Якщо йонізатор «працює», у газі безперервно з'являються нові йони. Після припинення дії йонізатора кількість вільних заряджених частинок у газі швидко зменшується і газ перестає бути провідником електрики.

4 Дізнаємося про йонізацію електронним ударом

За певних умов газ може проводити електричний струм і після припинення дії йонізатора.

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

Розглянемо, як відбувається самостійний газовий розряд.

Уявіть собі вільний електрон, що під дією електричного поля рухається в напрямку від катода до анода. Під час руху швидкість електрона поступово зростає (аналогічно тому, як зростає швидкість каменя, що падає, під дією гравітаційного поля Землі). Разом з цим на своєму шляху електрон стикається з частинками газу (атомами, молекулами, йонами) і втрачає свою швидкість. Якщо ж на проміжку між зіткненнями електрон встигне набути великої швидкості, а отже, достатньої кінетичної енергії, то, зіткнувшись з нейтральним атомом чи молекулою, він може вибити з них електрон, іншими словами, може їх *йонізувати*. Таким чином, у результаті йонізації атома чи молекули утворюються позитивний йон і ще один електрон. Послідовність таких зіткнень спричиняє створення *електронної лавини* (рис. 21.5). Описаний процес називають *ударною йонізацією* або *йонізацією електронним ударом*.

Усі електрони, що утворилися внаслідок ударної йонізації, прямують до анода і врешті-решт поглинаються ним. Проте газовий розряд не припиниться, якщо в ньому будуть з'являтися нові електрони. Одним із джерел нових електронів може бути поверхня катода. Річ у тім, що утворені внаслідок ударної йонізації позитивні йони прямують до катода й вибивають з нього нові електрони. Іншими словами, внаслідок бомбардування катода позитивними йонами відбувається *емісія* (випускання) електронів з поверхні катода.

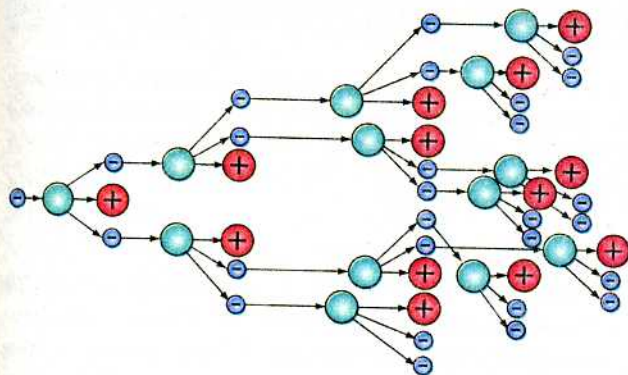


Рис. 21.5. Схема розвитку електронної лавини. Вільний електрон, прискорений електричним полем, йонізує молекулу чи атом і звільняє ще один електрон. Розігнавшись, 2 електрони звільняють ще 2. До анода летять уже 4 електрони. Потім загальна кількість вільних електронів збільшується до 8, 16, 32 і т. д. Число вільних електронів збільшується лавиноподібно доти, доки вони не досягнуть анода

5 З'ясуємо, за яких умов можлива йонізація електронним ударом

Щоб електрон зміг у разі зіткнення вибити електрон із нейтральних атома чи молекули, він має набути достатньо великої енергії. Досягти її електрон може у двох випадках: якщо буде або довго розганятись, або швидко розганятись.

За атмосферного тиску електрон дуже часто зазнає зіткнень, тому *електричне поле, в якому він рухається, має бути досить сильним, щоб електрон зміг набути енергії, необхідної для йонізації за короткий проміжок часу між зіткненнями.*

Якщо ж *газ досить розріджений*, то час між зіткненнями значно збільшується й електрон може набути енергії, необхідної для йонізації молекули, в слабшому полі.

! Підбиваємо підсумки

За звичайних умов газ практично не містить вільних заряджених частинок, тому не проводить електричного струму. Щоб газ почав проводити струм, його необхідно йонізувати. Йонізацією газу називають процес утворення позитивних і негативних йонів та вільних електронів з електрично нейтральних атомів і молекул.

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

Газовий розряд, який відбувається тільки за наявності зовнішнього йонізатора, називають несамостійним газовим розрядом. Розряд у газі, що відбувається без дії зовнішнього йонізатора, називають самостійним газовим розрядом — він можливий завдяки йонізації електронним ударом та емісії електронів з катода.

? Контрольні запитання

1. Чому за звичайних умов газ не проводить електричного струму?
2. Який газ називають йонізованим?
3. Що таке йонізація?
4. Який розряд у газі називають самостійним?
5. Чому після припинення дії йонізатора самостійний газовий розряд швидко припиняється?
6. Дайте визначення несамостійного газового розряду.
7. Опишіть механізм ударної йонізації.
8. Яким ще шляхом, крім йонізації електронним ударом, поповнюється нестача вільних електронів у випадку самостійного газового розряду?