

Електричне поле

Б.9.2.1 Електризація тіл. Електричний заряд

1. Явище, в результаті якого тіла набувають властивість притягувати інші тіла, називають електризацією тіл, а самі тіла наелектризованими або ж такими, що мають електричні заряди.

2. Однаково заряджені тіла відштовхуються, а по-різному заряджені тіла притягуються. Це вказує на існування двох видів зарядів.

3. Заряди, як на склі, потертому об шовк, назвали позитивними, а заряди, як на янтарі, потертому об хутро, – негативними.

4. Позитивні заряди позначили знаком “+” (плюс), а негативні – “-” (мінус).

5. Через одні речовини, які дістали назву провідників електрики, може передаватися заряд від зарядженого тіла до незарядженого.

Через інші речовини, які дістали назву діелектриків, або ізоляторів, заряд не може передаватися від зарядженого тіла до незарядженого.

6. Електричний заряд подільний. Але в природі існують частинки, що дістали назву елементарних, які мають найменший заряд.

Найменший негативний заряд мають елементарні частинки – електрони. Найменший позитивний заряд мають елементарні частинки – протони.

Існують елементарні частинки, що не мають електричного заряду. Ці частинки мають назву нейтронів.

Б.9.2.2 Будова атома

1. Найменша частинка даної речовини називається молекулою. Молекули складаються з атомів.

2. У центрі атома є досить велика частинка, що має позитивний заряд, – ядро атома. На значній відстані від ядра (порівняно з його розмірами) по певних орбітах рухаються електрони.

3. У нормальному стані атоми речовини є нейтральними. Це означає, що сумарний заряд усіх електронів атома дорівнює заряду ядра.

4. Ядра атомів мають складну будову. До їхнього складу входять позитивно заряджені частинки – протони, а також незаряджені частинки – нейтрони.

5. Існують атоми, які мають однакову кількість протонів в ядрі, але різну кількість нейтронів. Це так звані ізотопи.

6. Якщо атом втратить один або кілька електронів, то він матиме надлишковий позитивний заряд. Такий атом стає позитивним іоном. Коли ж нейтральний атом приєднує зайві електрони, то він стає негативним іоном.

Б.9.2.3 Зарядження тіл і будова атома

1. Тіла незаряджені, якщо в них є однакова кількість протонів і електронів.

Тіло має позитивний заряд тоді, коли воно має надлишкову, порівняно з

нормальною, кількість електронів.

Тіло має негативний заряд, якщо воно має меншу, порівняно з нормальною, кількість електронів.

2. Під час дотику двох тіл, виготовлених з різних речовин, частина електронів переходить від одного тіла до іншого. Тому одне тіло заряджається позитивно, а інше – негативно. В цьому полягає електризація тіл при їх дотику.

3. У провідниках (в металах) частина електронів, що перебуває на найбільших відстанях від ядер своїх атомів, слабо зв'язана з ядрами, може втратити з ними зв'язок і майже вільно рухатися в тілі провідника. Такі електрони називаються вільними.

Передача електричного заряду від зарядженого металу до незарядженого здійснюється внаслідок переміщення в провіднику вільних електронів.

В діелектриках вільних електронів немає, всі електрони зв'язані зі своїми ядрами атомів.

Б.11.3.1 Закон Кулона

1. Два нерухомі точкові електричні заряди у вакуумі взаємодіють із силою, прямо пропорційною добутку цих зарядів і обернено пропорційною квадрату відстані між ними. Сили взаємодії заряджених тіл за числовим значенням однакові і спрямовані вздовж прямої, яка з'єднує ці тіла.

$$F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2}.$$

Цей закон експериментально відкрив французький фізик Ш.Кулон, тому закон названо його ім'ям.

2. k – коефіцієнт пропорційності, який залежить від вибору системи одиниць. Значення k завжди беруть додатним, тоді різнойменним зарядам відповідає від'ємна сила (притягання), однойменним – додатна сила (відштовхування).

3. Наявність речовини навколо зарядів впливає на силу їхньої взаємодії й оцінюється діелектричною проникністю середовища ε .

Діелектрична проникність середовища дорівнює відношенню сили взаємодії між зарядами у вакуумі F_o , до сили взаємодії цих зарядів в речовині:

$$\varepsilon = \frac{F_o}{F}.$$

4. Закон Кулона за наявності непровідного середовища, в яке вміщені заряди, набуває вигляду:

$$F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{\varepsilon \cdot R^2}.$$

5. В СІ електричний заряд вимірюється в кулонах (Кл), а

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{H \cdot m^2}{Kl^2}.$$

6. Закон Кулона в одиницях СІ можна записати так:

$$F = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{\varepsilon \cdot R^2},$$

де ε_0 – електрична стала.

Б.11.3.2 Закон збереження електричного заряду

1. Алгебраїчна сума зарядів, які виникають внаслідок будь-якого електричного процесу на всіх тілах, які беруть участь в процесі, завжди дорівнює нулеві.

В цьому полягає закон збереження електричних зарядів.

2. Закон збереження електричного заряду справедливий лише для випадку електрично ізольованих систем, тобто для систем, які не обмінюються електричними зарядами з тілами чи частинками, що не входять в цю систему.

Б.9.2.4 Електричне поле

1. Взаємодія наелектризованих тіл здійснюється за допомогою електричного поля.

2. Основна властивість електричного поля, завдяки якій воно виявляє своє існування – це здатність діяти на електричні заряди з певною силою.

3. Електричне поле є одним з видів матерії. Воно існує реально і незалежно від нас, від наших знань про нього.

Б.11.3.3 Напруженість електричного поля

1. Напруженістю електричного поля в даній його точці називають фізичну величину, що чисельно дорівнює відношенню сили, з якою поле діє на точковий заряд, уміщений в цю точку, до цього заряду:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

2. Напруженість електричного поля – векторна величина. Напрямок вектора напруженості збігається з напрямом сили, з якою поле діє на позитивний заряд, уміщений в дану точку поля.

3. В СІ одиницею напруженості електричного поля є $1 \frac{H}{Kl}.$

4. Напруженість електричного поля точкового заряду на відстані R від нього:

$$E = \frac{q}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot R^2}.$$

5. Якщо $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, \vec{E}_n$ – напруженості полів, створюваних окремими зарядами у деякій точці, то напруженість $\vec{E}$ результуючого поля в тій самій точці:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n.$$

Цей висновок називають принципом незалежності дії електричних полів, або принципом суперпозиції полів.

Б.11.3.4 Лінії напруженості електричного поля

1. Електричне поле можна графічно зобразити за допомогою ліній напруженості.

Лінії напруженості проводять в електричному полі так, щоб у кожній її точці вектор напруженості був спрямований по дотичній.

2. Лінії напруженості ніде не перетинаються. Вони завжди починаються на поверхні позитивно зарядженого тіла і закінчуються на поверхні негативно зарядженого і є незамкнутими лініями.

3. За напрям лінії напруженості взято такий, який співпадає з напрямом векторів напруженості в кожній точці цих ліній.

4. Коли вектори напруженості у всіх точках поля мають однакове значення і напрям, лінії напруженості є прямими лініями, паралельними вектору напруженості, і густина ліній напруженості на всіх ділянках цього поля стала. Таке поле називається однорідним.

5. Однорідним поле може бути між нескінченно довгими паралельними пластинами, які заряджені різнойменно.

Б.11.3.5 Дослід Міллікена

1. Р. Міллікен довів дискретний характер електричного заряду та існування в природі найменшого (елементарного) електричного заряду.

2. Принципова схема досліду: між двома строго горизонтальними пластинами створювалося електричне поле, напруженість якого можна змінювати; у просторі між пластинами знаходились краплинки нелеткої рідини, які заряджалися під впливом радіоактивного, або рентгенівського випромінювання.

3. Проведення досліду: заряд краплинки змінювався і кожний раз, змінюючи напруженість електричного поля, встановлювалася рівновага краплинки; визначали заряд краплинки.

4. Результати досліду: значення заряду краплинки і їх послідовні різниці є цілими кратними деякого елементарного заряду.

Б.11.3.6 Провідники в електричному полі

1. Якщо провідник внести в електричне поле, вільні електрони в провіднику під дією сил цього поля змістатимуться в напрямі, протилежному напруженості поля. Внаслідок цього зміщення на одній частині провідника виникає надлишок негативного заряду, на другій частині – надлишок позитивного заряду. В цьому

полягає явище електростатичної індукції (або електризації через вплив).

2. Упорядковане переміщення електронів повністю припиняється, коли напруженості зовнішнього і внутрішнього полів виявляються однаковими за значенням.

Електричного поля немає всередині як зарядженого, так і незарядженого провідника.

3. Заряди розміщуються на зовнішній поверхні провідника. Найбільша кількість зарядів знаходиться на випуклостях і особливо на вістрях провідника.

Б.11.3.7 Потенціал і різниця потенціалів

1. Робота електричного поля при переміщенні заряду з однієї точки у другу не залежить від форми шляху, а залежить від положення цих точок. Отже, робота сил електричного поля з переміщення заряду замкненим контуром дорівнює нулеві.

2. Робота сил електричного поля під час переміщення в ньому заряду йде на зміну потенціальної енергії поля.

3. Відношення потенціальної енергії заряду, вміщеного в дану точку електричного поля, до значення заряду приймається за енергетичну характеристику поля, яку називають потенціалом поля в даній точці:

$$\varphi = \frac{\Pi}{q}.$$

4. Величина, що дорівнює відношенню роботи поля під час переміщення заряду з однієї точки в іншу, до значення заряду, називається різницею потенціалів між цими точками або напругою:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q} = \frac{\Pi_1}{q} - \frac{\Pi_2}{q}.$$

5. В СІ потенціал і напруга вимірюються в вольтах (В):

$$1\text{В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}.$$

6. Між напругою і напруженістю однорідного електричного поля існує зв'язок:

$$E = \frac{U}{\Delta d},$$

де Δd – відстань між точками поля вздовж силової лінії, для яких визначена напруга U .

Вектор напруженості електричного поля напрямлений у бік зменшення потенціалу.

7. Електричне поле графічно зображається еквіпотенціальними поверхнями, які перпендикулярні до ліній напруженості.

Б.11.3.8 Електроємність

1. Електроємністю провідника називають величину, яка вимірюється відношенням заряду провідника q до його потенціалу φ :

$$C = \frac{q}{\varphi}.$$

2. Електроємність провідника не залежить від значення заряду і визначається розмірами і формою провідника й електричними властивостями навколишнього середовища.

3. Одиницею електроємності в СІ є $\frac{Кл}{В}$. Цю одиницю названо фарад (Ф):

$$1\text{ Ф} = 1 \frac{Кл}{В}.$$

Б.11.3.9 Конденсатор

1. Найпростіший конденсатор складається з двох провідників (обкладок), розділених ізолятором (діелектриком).

2. Під електроємністю конденсатора розуміють фізичну величину, що дорівнює відношенню заряду Q , нагромадженого в конденсаторі, до різниці потенціалів ($\varphi_1 - \varphi_2$) між його обкладками:

$$C = \frac{Q}{(\varphi_1 - \varphi_2)}.$$

3. Електроємність плоского конденсатора прямо пропорційна робочій площі пластин і відносній діелектричній проникності діелектрика й обернено пропорційна відстані між пластинами:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}.$$

4. При паралельному з'єднанні конденсаторів електроємність усієї батареї визначається з виразу:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n.$$

При послідовному з'єднанні конденсаторів електроємність усієї батареї визначається з виразу:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$

Б.11.3.10 Енергія електричного поля

1. Енергія електричного поля зарядженого конденсатора дорівнює роботі, яку треба було виконати для його заряджання:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2.$$

2. Для випадку однорідного поля енергія одиниці об'єму (або об'ємна густина енергії електричного поля) дорівнює:

$$w = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2}{2}.$$

Б.11.3.11 Діелектрики в електричному полі

1. В ідеальних діелектриках немає вільних заряджених частинок.

Молекули багатьох діелектриків складаються з іонів. Центри позитивних і негативних електричних зарядів таких молекул зміщені один відносно одного, утворюючи полярну молекулу, або так званий диполь. Діелектрики, які складаються з молекул-диполів, називаються полярними діелектриками.

2. Навколо молекули-диполя утворюється електричне поле. В нормальному стані молекули-диполі розміщені хаотично і їхні поля взаємно послаблюють одне одного, тому поза діелектриком поле не виявляється.

3. Внаслідок накладання електричного поля спостерігається поляризація діелектрика: на одній поверхні діелектрика виникає негативний поляризаційний заряд, а на другій – позитивний.

4. Електричне поле поляризаційних зарядів завжди спрямоване назустріч зовнішньому полю, тому зовнішнє поле в середині діелектрика послаблюється.

5. Діелектрики в даному зовнішньому полі поляризуються по-різному, і про ступень поляризації даного діелектрика можна судити за відношенням:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E},$$

де E_0 напруженість зовнішнього поля у вакуумі, E – напруженість результуючого поля і діелектрику, ε – відносна діелектрична проникність.

6. ε – безрозмірна величина і для діелектриків завжди більша за одиницю.

Постійний електричний струм

Б.9.2.5 Електричний струм

1. У провідниках є вільні заряджені частинки.

Металевий провідник – кристалічне тіло. Позитивно заряджені іони утворюють кристалічні просторові решітки, а у просторі між ними хаотично рухаються вільні електрони.

У провідниках – розчинах кислот, лугів, солей є позитивно і негативно заряджені іони, які також рухаються хаотично.

2. Якщо всередині провідника створити електричне поле, то під дією цього поля вільні заряджені частинки не тільки рухаються хаотично, а й зміщуються вздовж провідника.

Упорядкований рух заряджених частинок називається електричним струмом.

3. Виявити наявність електричного струму в провіднику можна за його діями: тепловою, магнітною, хімічною.

4. За напрям електричного струму приймається напрям, в якому рухаються позитивно заряджені частинки, або напрям, протилежний напрямку руху негативно заряджених частинок.

Б9.2.6 Джерела електричного струму. Електричне коло.

1. Для того щоб у провіднику існував тривалий час електричний струм, необхідно існування в середині провідника протягом цього часу електричного поля.

2. Електричне поле всередині провідника створюється джерелами електричного струму.

3. Одним із видів джерела струму є гальванічні елементи, в яких у наслідок хімічних реакцій один з електродів весь час заряджений позитивно, інший – негативно.

Якщо до цих електродів (полюсів джерела струму) приєднати провідник, то всередині провідника тривалий час існує електричне поле, отже і електричний струм.

Джерелом електричного струму є акумулятор, який попередньо потрібно зарядити, після чого він працюватиме як звичайний гальванічний елемент.

4. Для практичного використання електричного струму потрібні джерело струму, системи з'єднувальних провідників і керуючих пристроїв, споживачі електричної енергії. Всі ці складові частини з'єднуються в електричні кола.

Б.9.2.7 Сила струму

1. Електричні струми відрізняються одні від одних тим, що за однаковий час через поперечний переріз провідника переноситься різний електричний заряд. Іншими словами, електричні струми відрізняються силою струму.

2. Силою струму називають фізичну величину, яка дорівнює відношенню заряду, перенесеного через поперечний переріз провідника за певний час, до цього часу.

Сила струму позначається буквою I .

$$I = \frac{q}{t}.$$

3. За одиницю сили струму обрано таку силу струму, за якої відрізки двох паралельних провідників завдовжки 1м взаємодіють із силою $2 \cdot 10^{-7}\text{Н}$. Цю одиницю виміру сили струму називають ампером (А).

4. Ампер – основна одиниця в Міжнародній системі одиниць фізичних величин. Одиниця виміру заряду – кулон – є похідною.

Кулон дорівнює електричному заряду, що переноситься зарядженими частинками, які створюють струм 1А, через поперечний переріз провідника за 1с.

5. Прилад для вимірювання сили струму – амперметр.

Б.9.2.8 Електрична напруга

1. При проходженні електричного струму по провіднику електричне поле виконує роботу.

2. Напруга визначає роботу, яку виконує електричне поле при перенесенні заряду 1Кл на даній ділянці кола.

Напруга позначається буквою U.

$$U = \frac{A}{q}.$$

3. У Міжнародній системі одиниць напруга вимірюється в вольтах (В):

$$1\text{В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}.$$

4. Напруга вимірюється за допомогою вимірювального приладу – вольтметра.

Б.9.2.9 Електричний опір

1. Провідники відрізняються одні від одних тим, що вони по-різному обмежують силу струму при умові однакової напруги на їх кінцях. Іншими словами, провідники відрізняються одні від одних їх електричним опором.

2. Електричним опором називають фізичну величину, яка дорівнює відношенню напруги на кінцях провідника до сили струму в ньому.

Позначається електричний опір буквою R.

$$R = \frac{U}{I}.$$

3. Електричний опір характеризує провідник і не залежить від сили струму в провіднику.

4. У Міжнародній системі одиниць електричний опір вимірюється в омах (Ом):

$$1\text{Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

5. Опір провідника довжиною l і з площею поперечного перерізу S , можна знайти за формулою:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}.$$

6. ρ – питомий опір речовини, з якої виготовлений провідник.

7. У Міжнародній системі одиниць питомий опір вимірюється в $\frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}}$ або $\text{Ом} \cdot \text{м}$.

На практиці користуються й іншою одиницею питомого опору: $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{мм}}$.

Б.9.2.13 Робота і потужність електричного струму

1. Для визначення роботи електричного струму на будь-якій ділянці кола треба напругу на цій ділянці кола помножити на перенесений заряд:

$$A = q \cdot U = U \cdot I \cdot t.$$

2. Потужність електричного струму дорівнює:

$$P = \frac{A}{t} = U \cdot I.$$

3. Потужність вимірюється в ватах (Вт):

$$1\text{Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1\text{В} \cdot \text{А}.$$

Робота електричного струму вимірюється в джоулях і ват-секундах:

$$1\text{Дж} = 1\text{Вт} \cdot \text{с}.$$

На практиці зручно користуватись одиницею роботи ват-година:

$$1\text{Вт} \cdot \text{год} = 3600\text{Дж} = 3600\text{Вт} \cdot \text{с}.$$

Б.9.2.14 Закон Джоуля-Ленца

1. Під час проходження струму провідники нагріваються.

2. Кількість теплоти, яка виділяється в провіднику під час проходження в ньому струму, пропорційна квадратові сили струму, опорів провідника та часові проходження струму:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t.$$

У цьому полягає закон Джоуля-Ленца.

3. Кількість теплоти, що виділяється під час проходження струму можна знайти і за такими формулами:

$$Q = I \cdot U \cdot t; \quad Q = \frac{U^2}{R} \cdot t; \quad Q = P \cdot t.$$

Ці формули можна застосовувати у випадку, коли вся електрична енергія на даній ділянці кола перетворюється лише у внутрішню енергію цієї ділянки.

Б.11.4.12 Умови існування електричного струму

1. Під електричним струмом розуміють спрямований (упорядкований) рух заряджених частинок.

2. Для існування електричного струму в речовині мають бути вільні заряджені частинки і створена між кінцями провідника різниця потенціалів.

3. Щоб струм існував тривалий час на заряди мають діяти зовнішні (сторонні) сили, спрямовані протилежно до електростатичних сил. Пристрій з двох заряджених тіл (електродів), між якими підтримується стала напруга, внаслідок чого у провіднику, що сполучає ці тіла, діє незмінне електричне поле, називають джерелом струму.

Б.11.4.13 Електрорушійна сила

1. Принцип дії всіх джерел струму полягає в тому, що в них за рахунок енергії не електричного походження відбувається розділення позитивних і негативних зарядів, і переміщення позитивних електричних зарядів до позитивного полюса джерела струму, а негативних – до негативного, і між полюсами джерела створюється електричне поле з певною різницею потенціалів.

2. У результаті розділення всередині джерела негативних і позитивних зарядів джерело набуває запасу потенціальної енергії, яка витрачається на виконання роботи по переміщенню зарядів по всьому колу.

3. Електрорушійною силою називають фізичну величину, яка вимірюється роботою, затрачуваною джерелом струму на переміщення одиничного позитивного заряду у замкненому колі:

4. В СІ ЕРС вимірюється в вольтах (В).

5. ЕРС джерела можна розглядати як найбільшу енергію, яку воно може в результаті будь-яких процесів передати кожному з розділених зарядів.

6. ЕРС дорівнює різниці потенціалів на полюсах розімкнутого джерела струму.

Електричний струм у різних середовищах

Електричний струм у металах

Б.11.6.1 Основні положення електронної теорії провідності металів

1. При утворенні кристалічної решітки металу валентні електрони відриваються від атомів і хаотично рухаються у проміжках між іонами, а самі іони здійснюють коливання у вузлах кристалічної решітки. Електрони, які відірвалися від атомів є вільними носіями заряду в металах, їх називають електронами провідності.

2. В електричному полі, створеному всередині металу, електрони провідності рухаються хаотично, одночасно зміщуються в одному напрямі – протилежному до напрямку вектора напруженості поля.

Впорядковане переміщення електронів провідності і є електричним струмом у металах.

3. У процесі руху під дією електричного поля електрони провідності співударяються з іонами кристалічної решітки.

Серед цих зіткнень бувають і такі, коли електрони всю набуту внаслідок розгону в електричному полі енергію передають решітці. Саме такі зіткнення відповідальні за електричний опір металу.

4. Електрони провідності в провіднику переміщуються під дією поля з дуже малою швидкістю. Коли йдеться про величезну швидкість поширення струму в провідниках, то мають на увазі, що з такою швидкістю поширюється дія електричного поля на заряди у провіднику.

Б.11.6.2 Залежність опору металевих провідників від температури

1. З підвищення температури провідника зростає середня швидкість теплового руху електронів і збільшується амплітуда коливань іонів у вузлах кристалічної решітки. Це веде до збільшення кількості зіткнень електронів з іонами, отже і збільшення опору металів.

2. Для характеристики залежності опору провідника від температури вводять температурний коефіцієнт опору α – величину, що показує на скільки змінюється кожна одиниця питомого опору речовини внаслідок зміни температури на один кельвін:

$$\alpha = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0 \cdot \Delta T}.$$

В СІ температурний коефіцієнт опору вимірюється в K^{-1} .

3. При сталому α :

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T); \quad R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T),$$

де ρ_0 і R_0 – значення опору провідника і питомого опору при $T_0 = + 273K$ ($t = 0^\circ C$), ρ і R – при T .

4. Як правило, з підвищенням температури температурні коефіцієнти опору металів зростають.

Б.11.6.3 Надпровідність

1. Зі зниженням температури опір металевих провідників зменшується. При температурах, близьких до абсолютного нуля, багато металів і сплавів стають надпровідниками. Їх опір при наближенні до абсолютного нуля різко спадає до нуля.

2. Якщо в кільцевому провіднику, який перебуває в надпровідному стані, створити струм, а потім вимкнути джерело, сила цього струму не змінюється як завгодно довго.

3. Зовнішнє магнітне поле не проникає всередину надпровідників.

4. Магнітне поле руйнує стан надпровідності.

Електричний струм у напівпровідниках

Б.11.6.4 Напівпровідники

1. Характерна особливість напівпровідників – це дуже сильна залежність їх питомого опору від стану речовини: температури, освітлення, наявності домішок тощо.

2. Основною відмінністю металів від напівпровідників є те, що в металах практично всі валентні електрони знаходяться у вільному стані, а в напівпровідниках – у зв'язаному.

Причому енергія зв'язку їх з атомами невелика, так що за рахунок теплових коливань іонів решітки частина електронів із зв'язаного стану може переходити у вільний.

3. У діелектриках (ізоляторах) енергія зв'язку валентних електронів з атомами значно перевищує енергію коливального руху атомів решітки, і тому за звичайних умов у таких речовинах вільних електронів практично немає.

При досить великих температурах діелектрики можуть поводити себе як напівпровідники.

Б.11.6.5 Провідність напівпровідників

1. Типовим напівпровідником є германій. Чотири валентні електрони кожного атома вступають у ковалентні зв'язки з електронами сусідніх атомів, так що вільних електронів у чистому германії при дуже низьких температурах немає.

2. При підвищенні температури кристалу внаслідок теплових коливань решітки відбувається розривання деяких валентних зв'язків. Наслідком чого стає поява електронів провідності і вакантних місць – дірок.

3. За наявності електричного поля електрони провідності переміщуються проти поля і утворюють електричний струм, який називають електронним. Дірки поводять

себе як позитивно заряджені частинки і при наявності електричного поля переміщуються в напрямку поля, утворюючи електричний струм, який називають дірковим.

4. Електропровідність, обумовлену переміщенням дірок, називають дірковою провідністю. В процесі діркової провідності беруть участь електрони зв'язку (не провідності), які переміщуються від дірки до дірки проти поля.

5. У хімічно чистих напівпровідниках електропровідність обумовлена однаковою кількістю електронів провідності і дірок та має назву власної електропровідності.

6. Домішки можуть збільшувати концентрацію електронів провідності і створювати у напівпровіднику електронну домішкову провідність n-типу. Такі домішки називаються донорними.

У провідності n-типу основними носіями струму є електрони провідності, а дірки – не основними.

7. Домішки, які захоплюють електрони від сусідніх атомів і викликають появу дірок, називають акцепторними. У даному випадку тип провідності називається провідністю p-типу, а напівпровідники з такою провідністю – дірковими, або напівпровідниками p-типу.

У провідності p-типу основними носіями струму є дірки, не основними – електрони.

Б.11.6.6 Електронно-дірковий перехід

1. Поблизу межі розділу напівпровідників n-типу і p-типу виникає шар підвищеного опору, який називається електронно-дірковим, або p-n переходом.

2. Особливістю p-n переходу є те, що його опір залежить від значення і напрямку напруженості зовнішнього електричного поля, прикладеного до цього переходу.

3. Якщо n-напівпровідник приєднати до негативного полюса джерела напруги, а напівпровідник p-типу до позитивного полюса, то концентрація носіїв струму в області підвищеного опору збільшується, що веде до зменшення опору p-n переходу.

Зі збільшенням напруги опір p-n переходу зменшується. Цей напрям зовнішнього електричного поля прийнято називати пропусчним.

4. Якщо змінити полярність прикладеної до напівпровідників напруги, то розмір подвійного шару, збідненого на носії струму – електрони і дірки, збільшуватиметься і його опір зростає. При досить великій напрузі цього напрямку подвійний шар є практично ізолятором. Цей напрям зовнішнього електричного поля називають заперним.

5. Контакт напівпровідників p- і n-типу має однобічну провідність – він добре пропускає струм в одному напрямі і практично не пропускає струм у протилежному напрямі.

Електричний струм у вакуумі

Б.11.6.7 Електричний струм у вакуумі

1. Електричний струм у вакуумі можна створити за рахунок введення в нього носіїв заряду.

2. Для цього використовують електронну емісію, тобто вихід вільних електронів з металу.

Для вилітання електрону з металу у вакуум він повинен виконати певну роботу проти сил електростатичного притягання з боку надлишку позитивного заряду, який виникає в металі внаслідок вилітання електронів, а також сил відштовхування з боку електронів, які вилетіли раніше і утворили поблизу поверхні металу електронну “хмару”.

Цю роботу називають роботою виходу електронів з металу.

3. Щоб існувала емісія електронів, необхідно надати електронам провідності металу кінетичної енергії, достатньої для виконання роботи виходу. Електрони можуть набувати кінетичної енергії за рахунок нагрівання тіла. В цьому випадку кажуть про термоелектронну емісію.

4. Струм через вакуумний діод проходить лише в тому випадку, коли розжарюваний електрод є катодом, а холодний – анодом.

5. При малих напругах сила струму у вакуумі зростає зі збільшенням напруги, але не лінійно. При певній напрузі, коли всі випущені катодом електрони досягають анода, настає насичення. Подальше збільшення напруги не приводить до зростання сили струму.

Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів

Б.11.6.8 Електричний струм у розчинах електролітів

1. Електропровідність електролітів обумовлена переміщенням іонів, які виникають лише у процесі взаємодії молекул розчиненої речовини з молекулами води.

2. Процес розпаду молекул розчиненої речовини на іони під впливом розчинника називається електролітичною дисоціацією.

3. Одночасно з дисоціацією існує процес рекомбінації, або молізації. У даному стані електроліту встановлюється динамічна рівновага, при якій число іонів, які утворюються внаслідок дисоціації, дорівнює числу іонів, які рекомбінують за той самий час.

4. Для кількісної характеристики ступені дисоціації вводиться коефіцієнт, або ступень дисоціації, який показує, яка частина молекул розчиненої речовини розпалася

на іони.

5. Коли зовнішнє електричне поле відсутнє, іони в електроліті здійснюють хаотичний тепловий рух.

Якщо створити в електроліті електричне поле, то на хаотичний тепловий рух накладається напрямлене зміщення іонів, тобто виникає електричний струм.

6. Електропровідність електролітів з підвищенням температури зростає. Це пояснюється тим, що під час нагрівання електроліту зростає ступень дисоціації, тобто концентрація іонів, і зростає їх рухливість, що веде до зменшення опору.

Б.11.6.9 Закони електролізу

1. Електроліз полягає у виділенні на електродах нових речовин, яких не було в розчині.

2. Маса речовини, яка виділяється на одному електроді, пропорційна кількості електрики, яка проходить через електроліт:

$$m = k \cdot q.$$

У цьому полягає перший закон електролізу Фарадея.

3. Коефіцієнт пропорційності k називається електролітичним еквівалентом речовини. Він залежить від хімічної природи речовини і чисельно дорівнює масі, яка виділяється на електроді при проходженні одиниці заряду.

В СІ електрохімічний еквівалент вимірюється в $\frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$.

4. Добуток числа Авогадро N_A на елементарний електричний заряд e є сталою величиною, яка називається числом Фарадея:

$$F = N_A \cdot e.$$

5. Електрохімічні еквіваленти речовин прямо пропорційні масам їх молів і обернено пропорційні їх валентностям:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}.$$

У цьому полягає другий закон Фарадея для електролізу.

6. Часто обидва закони електролізу об'єднують в одному виразі:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{N_A}{n} \cdot q \quad \text{або} \quad m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} \cdot I \cdot t.$$

Електричний струм у газах

Б.11.6.10 Електричний струм у газах

1. Гази у звичайних умовах складаються з нейтральних молекул і не проводять електричний струм.

2. Внаслідок зовнішніх впливів відбувається іонізація газів і в них з'являються вільні носії заряду – електрони та іони обох знаків.

Поряд з іонізацією в газах може відбуватися і зворотний процес – рекомбінація (молізація) іонів у нейтральні атоми чи молекули.

3. Проходження електричного струму через газ називається газовим розрядом.

Якщо електропровідність в газі виникає під дією іонізаторів, а з відділенням останніх припиняється, то має місце несамотійний розряд, а провідність називається несамотійною.

4. При невеликих напругах залежність сили струму лінійна. Це означає, що тут справджується закон Ома.

Зі збільшенням напруги сила струму зростає повільніше, ніж напруга.

Починаючи з деякої напруги сила струму зберігає сталі значення, яке називають струмом насичення.

Нарешті, при ще більшому значенні напруги сила струму, знову різко зростає внаслідок ударної іонізації.

5. Ударна іонізація – це іонізація газу, що виникає внаслідок зіткнень електронів з нейтральними атомами і молекулами. Внаслідок ударної іонізації число носіїв струму в газі наростає лавиноподібно.

Б.11.6.11 Самостійний електричний розряд

1. Самостійним називають розряд у газах, який зберігається й після припинення дії зовнішнього іонізатора.

2. Щоб розряд був самостійним, потрібна не тільки іонізація газу електронними ударами, а й вибивання позитивними іонами вільних електронів з молекул або з катода.

3. Залежно від стану газу (температури і тиску), від напруги, форм і розмірів електродів самостійні газові розряди відрізняються одні від одного як за зовнішнім виглядом, так і за характером фізичних процесів, які обумовлюють їх виникнення й проходження.

4. До самостійних розрядів у газах відносяться: тліючий розряд; тепловий розряд; коронний розряд; дуговий розряд.

Б.11.6.12 Поняття про плазму

1. Сильно іонізований газ дістав назву плазми – четвертого стану речовини. У плазмі концентрація електронів та іонів однакова, сумарний об'ємний заряд дорівнює нулю.

2. Плазма має дуже велику електропровідність. Вона є своєрідним пружним середовищем, в якому можуть легко збуджуватися і поширюватися різноманітні коливання і хвилі. Зовнішні електричне і магнітне поля діють на частинки плазми з великими силами.

3. Газорозрядна плазма, тобто плазма, яку отримують за допомогою газового розряду, стійка лише за наявності електричного поля. Її називають низькотемпературною.

4. У високотемпературній плазмі можливі реакції термоядерного синтезу, при якій виділяється значна енергія.