

3.9.

1. Електропровідність металів

3.10.

3. Електричний струм у газах, види газових розрядів. Уявлення про плазму.

Струм у різних середовищах

3.9.

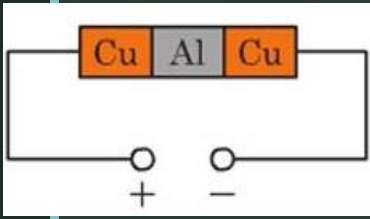
2. Електропровідність розчинів електролітів

3.10.

Струм у вакуумі.
Термоелектронна емісія.
Електровакуумні прилади

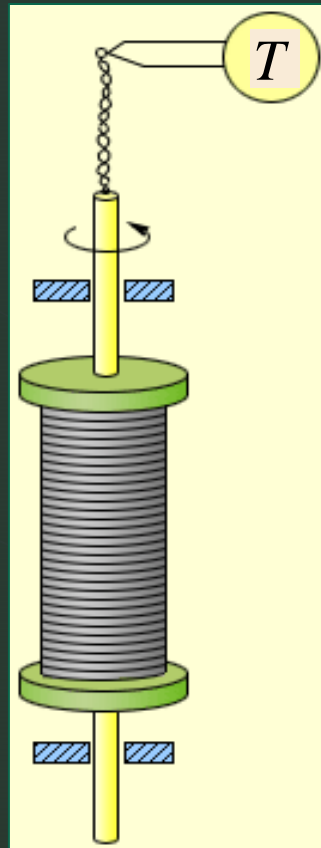
3.9. Електропровідність металів

Дослід К. Рікке (1901 р.)



- Німецький фізик-експериментатор Карл Рікке на трамвайній підстанції у Штутгарті вмикав у головний провід, яким подавалося живлення трамвайним лініям, послідовно три металевих циліндри, тісно притиснутих один до одного торцями: два крайніх - мідних, а середній - алюмінієвий.
- По цьому ланцюгу пропускався електричний струм *протягом року*. За рік крізь циліндри пройшов заряд більше *трьох мільйонів кулон*.
- У результаті точного зважування до експерименту та після експерименту виявилось, що дифузія в металах не відбулася: у мідних циліндрах не було атомів алюмінію, і навпаки.
- Електричний струм в металах не супроводжується перенесенням речовини, тому позитивні іони металу не беруть участі у створенні струму.

Дослід М.І. Мандельштама та М.Д. Паплексі (1913 р.)

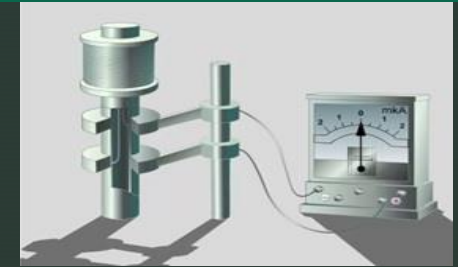


- Котушка швидко оберталася, а потім різко гальмувалася.
- В результаті чого замкнута разом з нею в ланцюг нерухома телефонна трубка починала видавати потрiскування, щп вказувло на наявність невеликого струму.

- Тобто, мав місце так званий *електроінерційний ефект*: якщо різко загальмувати рухомий провідник, то в ньому виникає короткочасний імпульс струму.
- Ефект пояснюється тим, що протягом невеликого часу після гальмування провідника його вільні заряди продовжують рухатися за інерцією.

Однак жодних *кількісних результатів* Мандельштам і Папалексі не отримали, і спостереження їх опубліковані не були.

Дослід Т. Стюарта і Р. Толмена (1916 р.)



- Котушка з більшим числом витків металевого дроту приводилася в швидке обертання навколо своєї осі.
- Кінці обмотки за допомогою ковзних контактів були приєднані до спеціального приладу – балістичного гальванометра, який дозволяв виміряти заряд, що проходить через нього.

- Після різкого гальмування котушки в ланцюзі виникав імпульс струму. Напрямок струму вказувало на те, що він викликаний рухом негативних зарядів.
- Вимірюючи балістичним гальванометром сумарний заряд, що проходить по ланцюгу, Стюарт і Толмен вираховували відношення q/m заряду однієї частинки до її маси. Воно виявилось однаковим з відношенням e/m для електрона, яке в той час вже було добре відомо.

3.9. Електропровідність металів

Математичні розрахунки у досліді Т. Стюарта і Р. Толмена

Під час гальмування котушки частинки, що вільно рухаються в товщі провідника, набувають відносно нього прискорення:

$$F = ma$$

Цій силі можна поставити у відповідність еквівалентну дію електричного поля:

$$F = eE = e \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{L}$$

де e – заряд частинки; $\Phi_1 - \Phi_2$ – різниця потенціалів на кінцях провідника; L – довжина провідника.

Тоді з цих рівнянь маємо:

$$\Phi_1 - \Phi_2 = \frac{maL}{e}$$

Поділимо ліву на праву частину рівняння на опір провідника R :

$$I = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R} = \frac{maL}{eR}$$

Оскільки струм:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

то:

$$dq = Idt = \frac{maL}{eR} dt = \frac{mL}{eR} a dt = \frac{mL}{eR} dv$$

Інтегруємо:

$$\int_0^q dq = \frac{mL}{eR} \int_{v_0}^0 dv$$

Отже:

$$q = \frac{mLv_0}{eR}$$

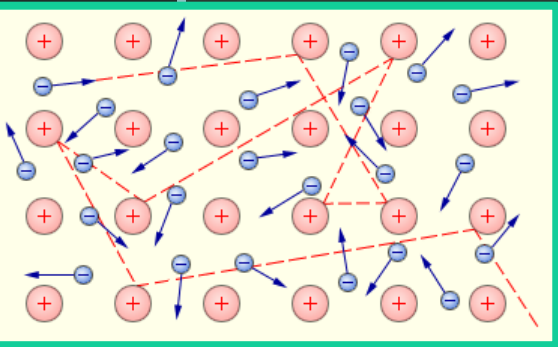
Остаточно питомий заряд частинки:

$$\frac{e}{m} = \frac{Lv_0}{qR}$$

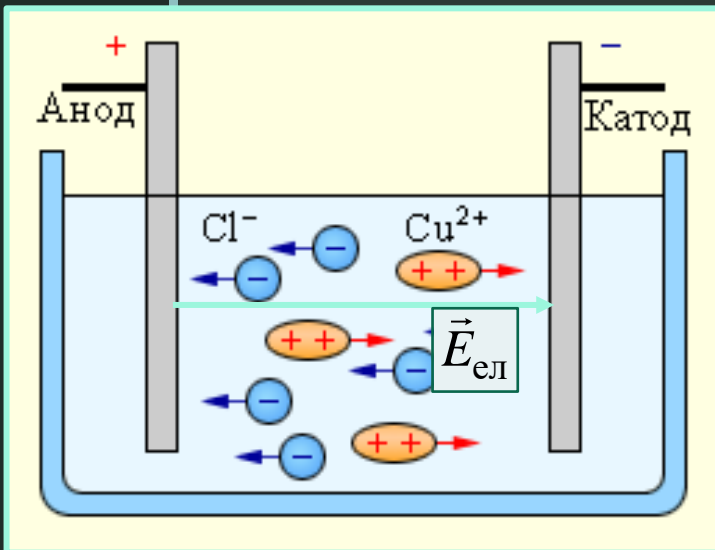
Усі величини, що входять до правої частини рівності можна виміряти.

Значення питомого заряду частинки, яке отримали у цих дослідях, добре узгоджувалось з притомим зарядом електрона.

Отже, було зроблено висновок, що *носіями електричного струму у провідниках є вільні електрони*, які хаотично рухаються між вузлами кристалічної ґратки й утворюють так би мовити *електронний газ*, а самі електрони називаються *електронами провідності*.



3.9. Електропровідність розчинів електролітів



Електролітами називають розчини кислот, солей та лугів.

Електролітична дисоціація – процес розпаду нейтральних молекул під впливом розчинника на **іони (катіони та аніони)**.

Прикладом може бути розчин солі в воді – молекула *NaCl* розпадається на іон натрію (*Na⁺-катіон*) та іон хлору (*Cl⁻-аніон*). Дистильована вода не містить іонів та не є провідником.

Електроліти є **провідниками другого роду**, тобто речовинами, при проходженні електричного струму у яких виникають хімічні перетворення (на відміну від металевих провідників – провідників **першого роду**, в яких не відбуваються хімічних перетворень).

При створенні в об'ємі електроліту електричного поля, виникає **рух вільних іонів - електричний струм у рідинах**: позитивно заряджені іони рухаються в напрямі негативно зарядженого електрода (катода), звідси загальна назва – **катіони**. Відповідно негативно заряджені іони рухаються до електрода з потенціалом (+). Зазвичай такий потенціал має анод, звідси загальна назва – **аніони**.

Електролізом називають процес виділення на електродах речовини при проходженні електричного струму через електроліт.

Закони Фарадея для електролізу

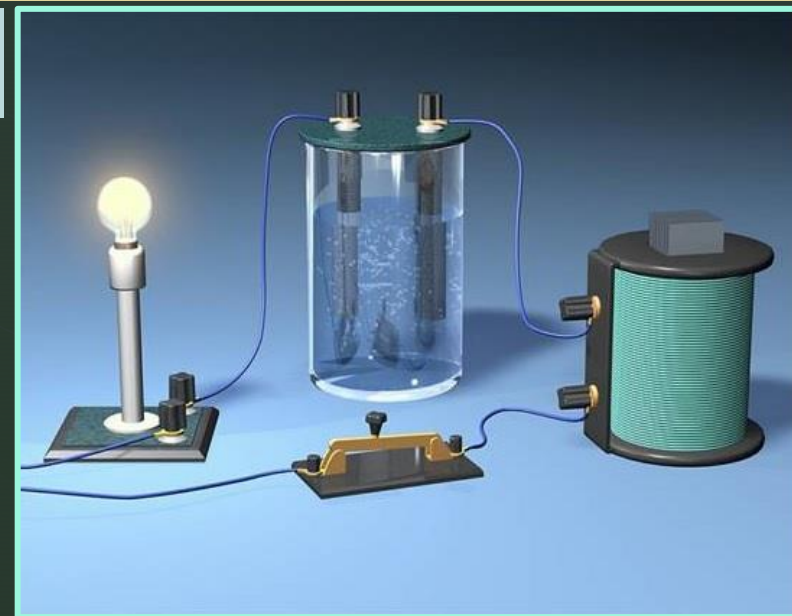
1. Маса речовини, яка виділяється на електродах пропорційна заряду, що пройшов через електроліт:

$$m = kq = kIt$$

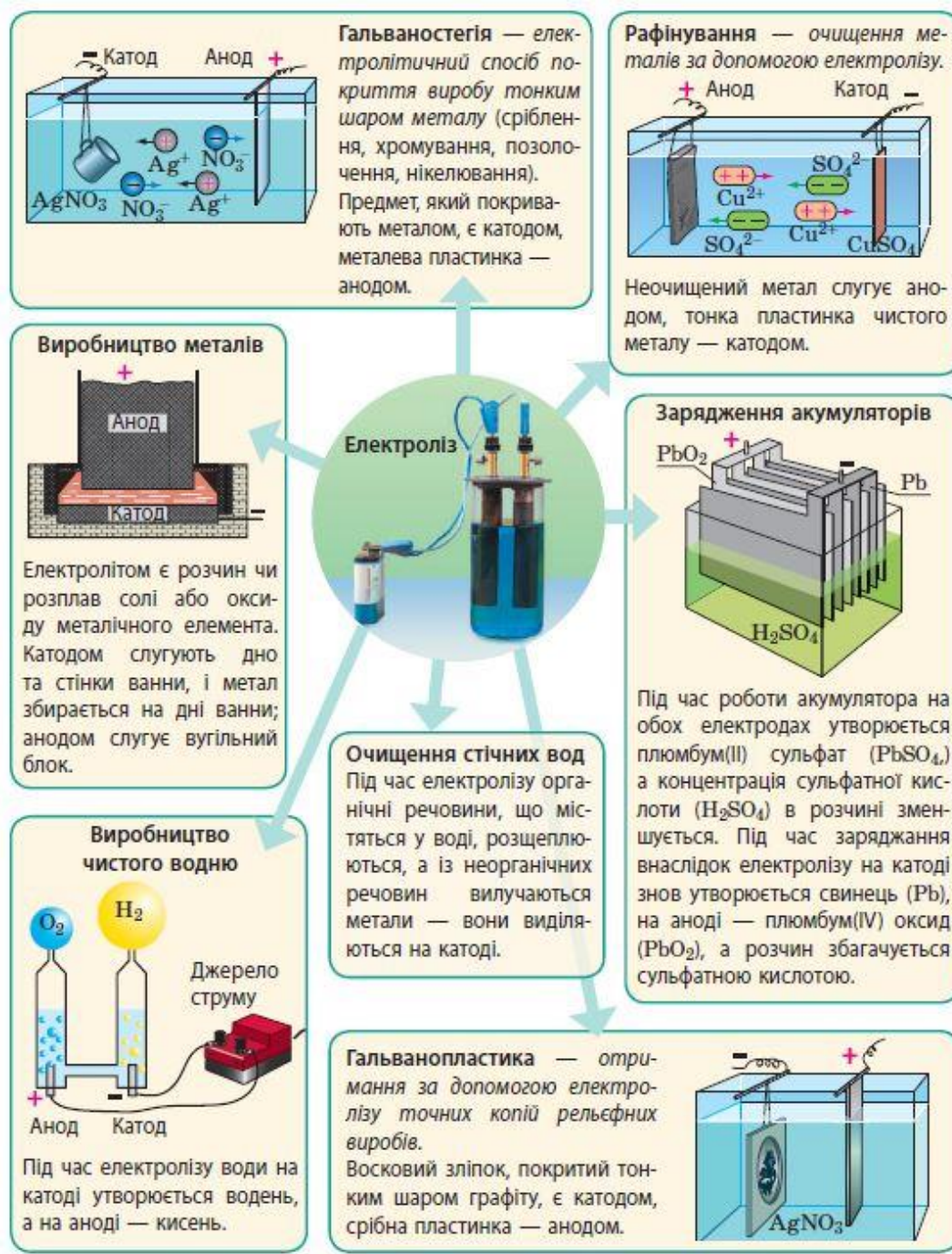
2. Електрохімічний еквівалент речовини пропорційний до її хімічного еквіваленту:

$$k = \frac{1}{F} \frac{A}{z}$$

$F = N_A e = 96485$ Кл/моль - число Фарадея; A – атомна маса; Z - валентність



3.9. Застосування електролізу



3.9. Застосування електролізу

Гальванопластика

- Формотворення із кольорового металу за допомогою осадження його із розчину (розплав) під дією електричного струму на матриці
- Гальванопластику використовують у тих випадках, коли в металевій деталі дуже складна форма й звичайним способом (литтям або механічною обробкою) її важко або неможливо виготовити.
- Спочатку роблять зліпок рельєфного предмета із воску або іншого пластичного матеріалу. Щоб поверхня зліпка проводила струм, її покривають тонким шаром графіту. Потім зліпок поміщають у ванну з розчином електроліту. Під час пропускання струму через розчин на зліпку нарощується досить товстий шар металу, що заповнює всі нерівності зліпка.
- Після припинення електролізу восковий зліпок відділяють від шару металу і в результаті отримують точну копію виробу.



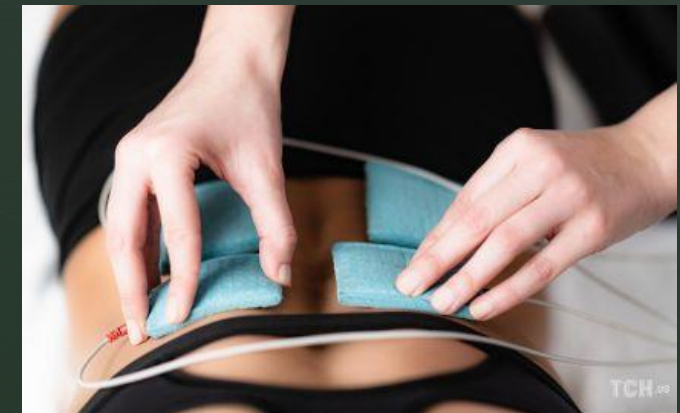
Гальваностегія

- Електрохімічний процес покриття одного металу іншим, більш стійким в механічному і хімічному відношенні, наприклад, сталеві деталі покривають хромом, нікелем; мідні — нікелем, сріблом або іншими металами
- Приклад гальванізації у ємність з водою додається каталізатор для посилення електропровідності води, опускається мідна (для більшої електропровідності) рама з прикріпленим до неї мішечком зі сріблом (золотом). Також опускається друга рама з прикріпленою металевою деталлю, яку треба посріблити. Рама зі сріблом приєднується до генератора постійного струму на клему «+», а рама з деталлю — на клему «-», вмикається генератор. Іони срібла під впливом струму переходять у воду й осідають на металевій деталі. Через деякий час виходить посріблена деталь.



Гальванізація

- метод застосування з лікувальною метою постійного електричного струму малої сили (до 50 мА) та низької напруги (до 60 В), який проходить в тканини через потові та сальні залози, а також точки акупунктури.
- Під його впливом змінюється:
- якісне та кількісне співвідношення іонів біля мембрани клітин,
- кислотно-основний стан тканинного середовища,
- осмотичні процеси, проникність мембран, збудливість клітин,
- окислювально-відновлювальні та ферментні процеси,
- посилюється крово- та лімфообіг,
- стимулюються обмінно-трофічні процеси, прискорюються процеси регенерації нервової, кісткової та сполучної тканини,



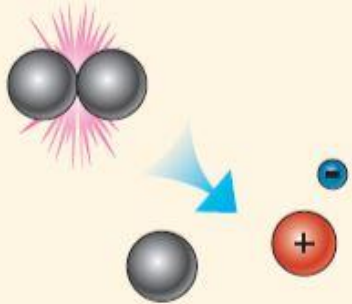
3.10. Електричний струм у газах, види газових розрядів. Уявлення про плазму

Газовий розряд – це виникнення електричного струму у газах.

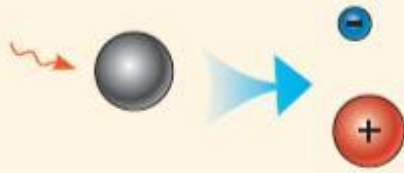
Для виникнення електричного струму у газах, молекули яких в цілому нейтральні, необхідним є створення **вільних носіїв заряду**.

Йонізація – це процес розділення молекул газу на **йони** або процес відділення електрона з орбіталі, внаслідок чого утворюються **вільні електрони** та **позитивні йони**.

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



Йонізація випромінюванням: енергію, необхідну для йонізації, постачає в атом високочастотне електромагнітне випромінювання.



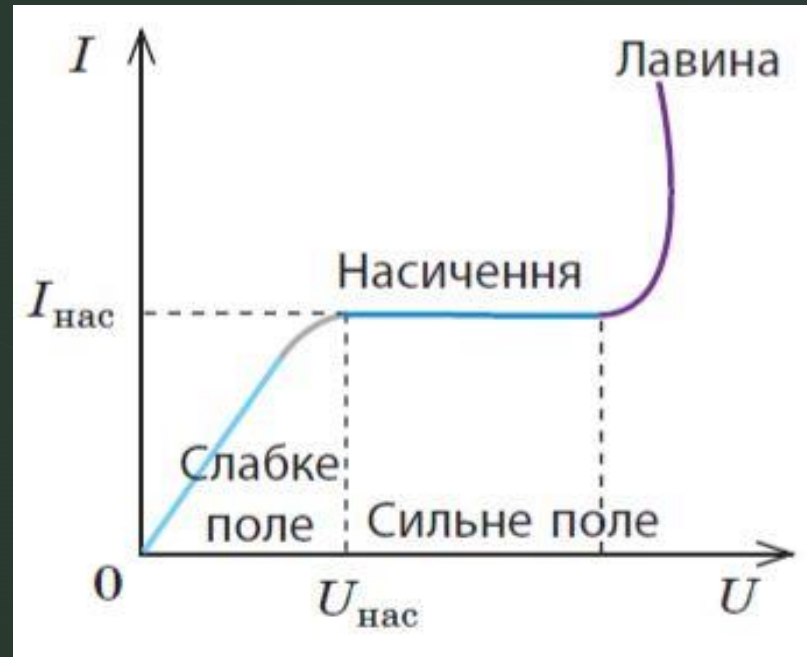
$$h\nu = q\phi_i$$

$$\frac{mv^2}{2} = q\phi_i$$

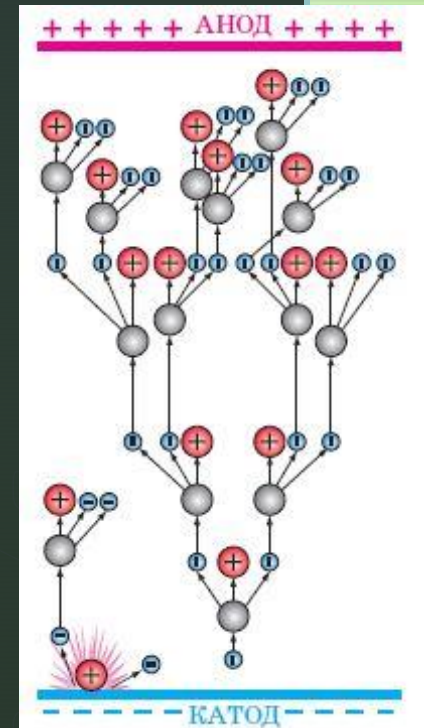
Розрізняють **несамостійний** та **самостійний** газовий розряд.

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

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



Воль-амперна характеристика газового розряду



3.10. Види газових розрядів

Іскровий розряд.

Нестационарний газовий розряд при високих тисках газу (порядку атмосферного), високих напругах (мільйони вольт) та великих струмах (десятки та сотні кілоампер).

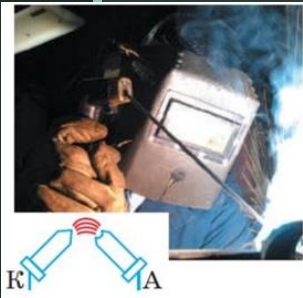
Класичний приклад – блискавка.



Дуговий розряд.

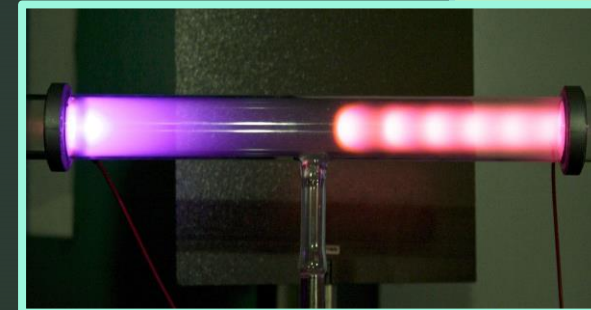
Самостійний газовий розряд при високих тисках, невеликих напругах (десятки вольт) та значних струмах (кілоампери).

Класичний приклад – дуга електрозварювання



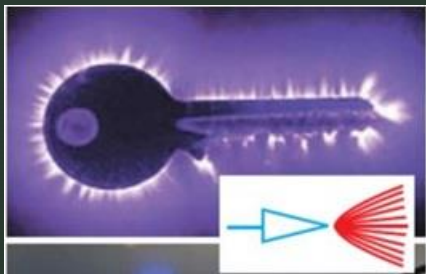
Тліючий розряд. Самостійний газовий розряд в розріджених газах, при незначних напругах та струмах.

Використовують в люмінесцентних лампах та газорозрядних лампах різного призначення.



Коронний розряд. Низькострумний газовий розряд за рахунок виникнення області в газі з великою **напруженістю** поля ($E > 10 \text{ В/м}$). Найчастіше виникає там, де є електроди з малим радіусом кривизни.

Спостерігається у вигляді світних корон (звідки назва) з характерним шипінням.

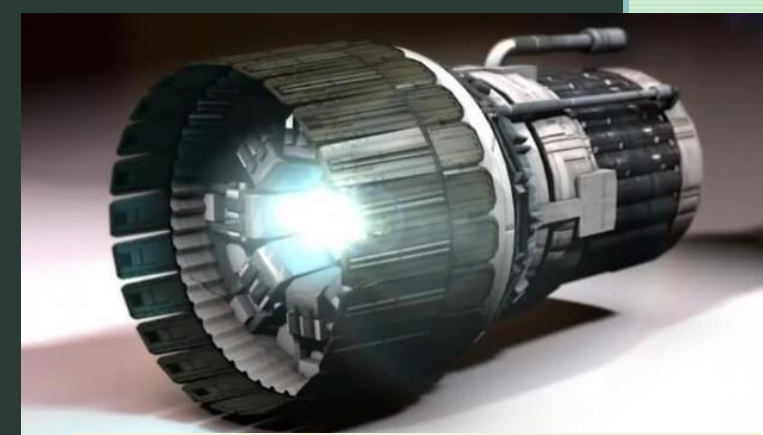




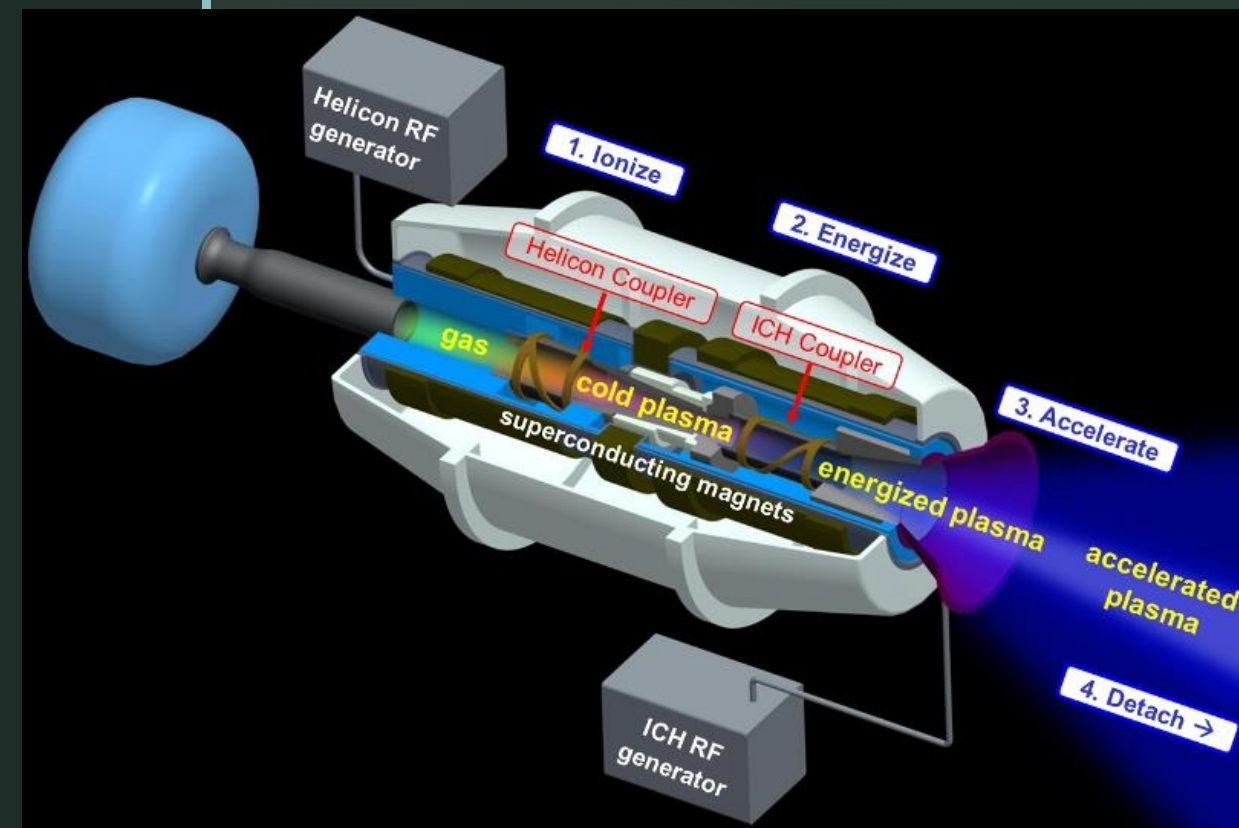
3.10. Уявлення про плазму

При будь-яких типах газових розрядів виникає іонізований стан газу, який коротко іменують *плазмою*.

З деякою натяжкою, враховуючи розповсюдженість подібного стану у Всесвіті $\approx 96\%$, плазму відносять до *четвертого стану* речовини – іонізований, квазінейтральний її стан.



Іонно-плазмовий двигун
(Харків)



Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket

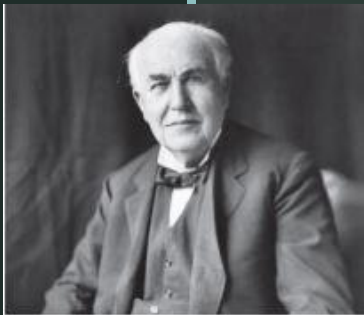
Насправді всіх ознак нового агрегатного стану у плазми немає, проте є ціла низка особливостей.

1. **Компонентний склад плазми** – крім молекул та атомів, завжди присутні іони та електрони. У високоіонізованій плазмі іон-електронна компонента переважає.

2. **Неізотермічність** – здебільшого температури атомів, іонів та електронів суттєво відрізняються.

3. **Особлива взаємодія з електричними та магнітними полями** (магнітні пастки для плазми, плазма термоядерного синтезу).

3.10. Струм у вакуумі. Термоелектронна емісія.



Томас Едісон
(1847–1931)

У 1883 р. американський винахідник *Томас Едісон*, намагаючись збільшити термін служби свого винаходу — електричної лампи розжарювання, увів у балон лампи, з якого було відкачано повітря, електрод. Приєднавши електрод до позитивного полюса джерела струму, а нитку розжарення лампи — до негативного, Едісон спостерігав появу струму. А от коли електрод був з'єднаний з негативним полюсом джерела, а нитка розжарення — з позитивним полюсом, струм не виявлявся.

Електричний струм у вакуумі являє собою напрямлений рух вільних електронів, отриманих у результаті електронної емісії.

Електронна емісія - процес випромінювання електронів з поверхні металу.

Енергію, яку необхідно мати електрону, щоб залишити метал, називають **роботою виходу** $A_{\text{вих}}$.

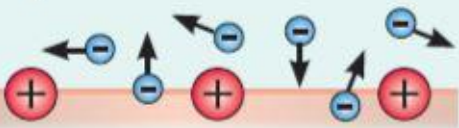
Електрон може залишити метал, якщо його кінетична енергія E_k буде більшою за роботу виходу або буде дорівнювати їй:

$$E_k \geq A_{\text{вих}}, \text{ або } \frac{m_e v^2}{2} \geq A_{\text{вих}}$$

Вакуум (від латин. *vacuum* — порожнеча) — це стан газу за тиску, який менший від атмосферного.

Розрізняють *низький, середній, високий (глибокий) вакууми*. Коли кажуть про електричний струм у вакуумі, мають на увазі **високий (глибокий) вакуум** — стан газу, за якого довжина вільного пробігу молекул газу більша за лінійні розміри ємності, в якій міститься газ.

• **Термоелектронна емісія** — випромінювання електронів нагрітими тілами.



• **Автоелектронна емісія** зумовлена наявністю біля поверхні тіла сильного електричного поля, яке «вириває» електрони з металу.

• **Фотоелектронна емісія** відбувається під дією випромінювання, яке падає на поверхню тіла.

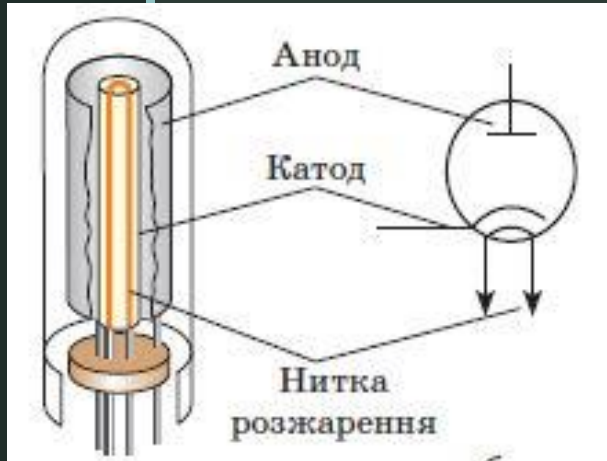


• **Вибухова електронна емісія** — емісія електронів унаслідок переходу мікроскопічних ділянок катода в плазму (локальний вибух).

• **Вторинна електронна і йонно-електронна емісії** — випромінювання електронів із поверхні тіла внаслідок його бомбардування електронами або йонами відповідно.



3.10. Електровакуумні прилади



Для *термоелектронної емісії* потік електронів залежить від роботи виходу з матеріалу $A_{\text{вих}}$ та температури T (формула Річардсона - Дешмена):

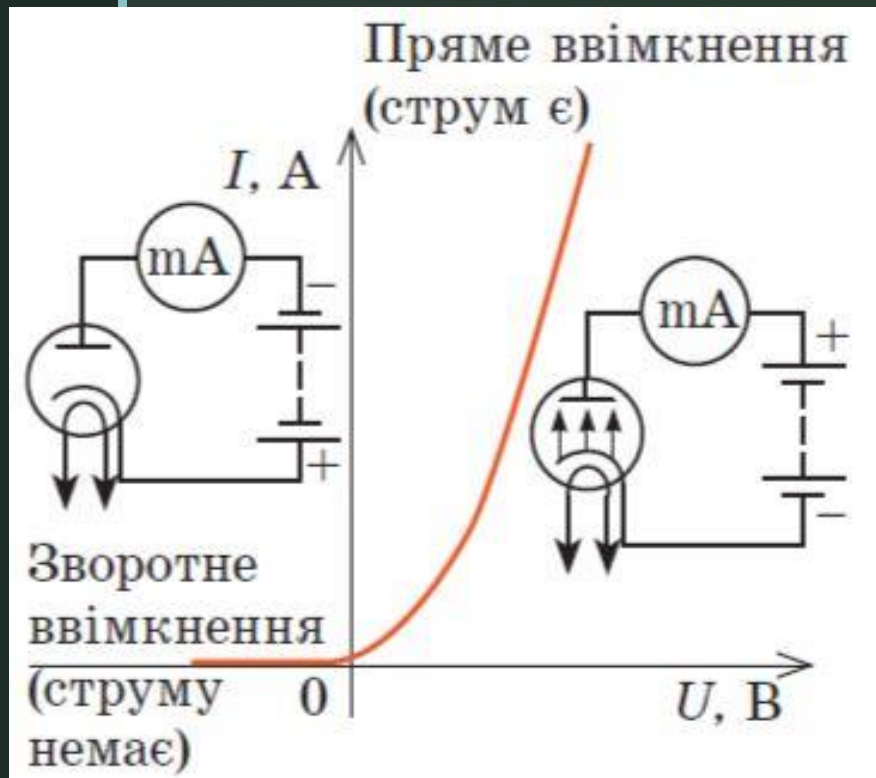
$$j_{\text{нас}} \sim T^2 e^{-\frac{A_{\text{вих}}}{kT}}$$

З підвищенням температури цей потік значно зростає

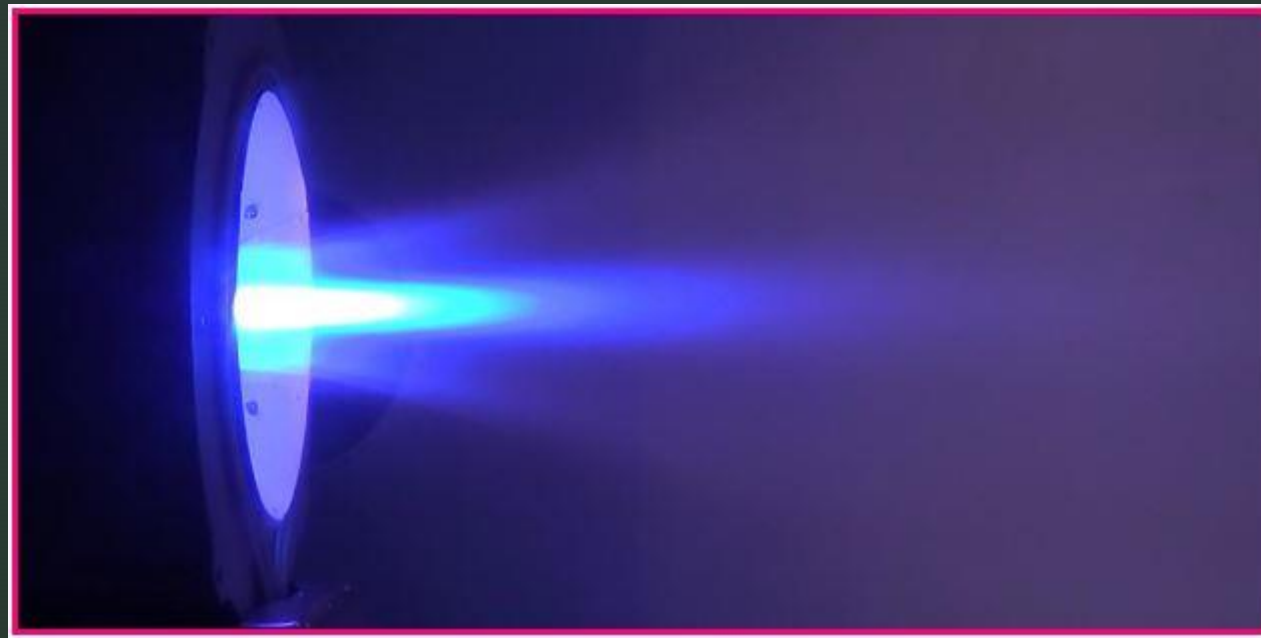
Якщо в аноді лампового діода зробити отвір, то частина електронів, прискорених електричним полем, влетить у цей отвір і створить за анодом **електронний пучок** — *потік електронів, які швидко рухаються.*

Властивості електронних пучків:

- 1) спричиняють нагрівання тіл у разі потрапляння на їх поверхню;
- 2) викликають появу рентгенівського випромінювання в разі швидкого гальмування;
- 3) викликають світіння деяких речовин і матеріалів (так званих люмінофорів);
- 4) відхиляються електричним і магнітним полями.



Дякую за увагу



Лекція закінчена