

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія природничих дисциплін

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

**з навчальної дисципліни «Фізика»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти
Аеронавігація**

за темою - Електричний струм у вакуумі

Харків 2022

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від _____ 2022 № _____

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу ХНУВС
Протокол від _____ 2022 № _____

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від _____ 2022 № _____

Розглянуто на засіданні циклової комісії природничих дисциплін, протокол від
10.08.2022 № 1

Розробник: викладач циклової комісії природничих дисциплін, спеціаліст
першої категорії, Москалик В.М.

Рецензенти:

1. Завідувач відділення фахової підготовки навчального відділу КЛК ХНУВС,
к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.
2. Доцент кафедри автомобілів і тракторів Кременчуцького національного
університету імені Михайла Остроградського, к.т.н., доцент Черниш А.А.

План лекції

1. Поняття про плазму
2. Вакуум

Рекомендована література:

Основна

1. Дмитрієва В. Ф. Фізика : навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К.: Техніка, 2008. – 608 с.

Додаткова

1. Курс фізики : навчальний посібник / [Зачек І. Р., Кравчук І. М., Романишин Б. М., Габа В. М., Гончар Ф. М.]. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2002. – 376 с.
2. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – 224 с.
3. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.
4. Збірник задач з фізики : навчальний посібник / [Лопатинський І. Є., Зачек І. Р., Середа В. М., Крушельницька Т. Д., Українець Н. А.]. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 124с.

Текст лекції

1. Несамостійний і самостійний газові розряди

Несамостійний розряд

Процес проходження струму через газ називають газовим розрядом. Струм у газі, який виник під дією зовнішнього іонізатора, називається несамостійним газовим розрядом. З'ясуємо закономірності цього процесу. Припустимо, що на повітряний проміжок між обкладками конденсатора, діє ультрафіолетове випромінювання. Якщо за допомогою потенціометра плавно збільшувати напругу між обкладками конденсатора, то струму I збільшуватиметься пропорційно напрузі U до якого значення I_n , яке називають струмом насичення. Подальше збільшення напруги від U_n до U_3 сили струму не змінює.

Під час іонізації в зазорі конденсатора утворюються протилежно заряджені частинки. Якщо напруга між обкладками конденсатора дорівнює нулю, струм також дорівнює нулю, бо утворені носії струму рухаються хаотично. Із

збільшенням напруги між обкладками конденсатора в напрямлений рух утягується дедалі більша кількість іонів і електронів. Вони досягають обкладок конденсатора, сила струму збільшується. Якщо напруга досягне U_n , при якій всі утворені в зазорі заряди прийдуть до обкладок конденсатора, сила струму матиме максимальне за даної інтенсивності іонізації значення. Збільшення напруги (до значення U_z) не може змінити сили струму. Якщо іонізатор припинить дію, то припиниться й розряд, бо інших джерел іонів немає. Тому розряд називають *несамостійним*.

Самостійний розряд

Якщо напругу підвищувати й далі (від U_z , і вище), сила струму різко зростає. Якщо дію зовнішнього іонізатора припинити, то такий розряд триватиме. Це свідчить про те, що іони, потрібні для підтримання електропровідності газу, тепер створюються самим розрядом. *Газовий розряд, який триває після припинення дії зовнішнього іонізатора, називають самостійним газовим розрядом.*

Напругу U_z , при якій виникає самостійний розряд, називають напругою запалювання газового розряду, або напругою пробою.

Самостійний газовий розряд підтримується завдяки ударній іонізації електронами, які прискорюються електричним полем. Електрони під дією поля E рухаються прискорено, їх кінетична енергія зростає внаслідок роботи сил електричного поля:

$$\frac{mu^2}{2} = eE(\lambda).$$

Тут u — швидкість електрона, (λ) - довжина його вільного пробігу, тобто шлях, який проходить електрон між двома послідовними співударями.

Якщо кінетична енергія електрона дорівнює енергії іонізації атома або перевищує її, то від їх співударяння атом може іонізуватися. Внаслідок іонізації виникають ще один електрон і позитивний іон. Це відбудеться при

$$E_i >> \frac{U_z}{(\lambda)}.$$

Перший електрон під час співударяння втрачає енергію, витрачаючи її на іонізацію атома. Але при достатній напруженості електричного поля обидва електрони-перший і той, що утворився, - знову на довжині вільного пробігу набувають енергії, потрібної для іонізації іонів. Під час наступного співударяння іонуються вже два атоми і кількість електронів зростає до чотирьох, після третьої іонізації електронів буде вже вісім, після четвертої-шістнадцять утворюються

електронні та іонні "лавини" (позитивних іонів, які утворюються при ударній іонізації).

Щоб розряд був самостійним, утворення тільки електронних та інших лавин є необхідною, але не достатньою умовою. Потрібно також, щоб при вимкненому зовнішньому іонізаторі газі відтворювались нові електрони замість тих, які перейшли на анод. Ці електрони вибиваються з катода, якщо його бомбардували фотонами і позитивними іонами, які рухаються до катода під дією електричного поля. Співударяючись з катодом, іон може вибити з його поверхні електрони. Явище вибивання електрона з поверхні катода назвали вторинною електронною емісією. Кількість електронів, які вибиває з поверхні катода один іон, залежить від енергії іона і матеріалу катода. Тільки одночасна дія цих двох процесів (утворення електронних та інших лав і вторинна електронна емісія) спричинює самостійний розряд. У цьому разі пробивається газовий проміжок і запалюється самостійний газовий розряд.

2. Іонізація газів. Зовнішні іонізатори

Гази за нормальних умов (коли немає іонізатора) є ізоляторами і стають провідниками електричного струму тільки від дії. Електропровідність газу можна змінити, опромінюючи його ультрафіолетовими, рентгенівськими або радіоактивними променями, нагріваючи його тощо.

За нормальних умов гази на відміну від металів електролітів вільних носіїв струму, тобто електронів та іонів, бо вони складаються з електрично нейтральних атомів молекул. Внаслідок зовнішніх дій іонізується, тобто від атомів молекул відриваються електрони. Внаслідок іонізації виникають позитивні іони електрони. Який-небудь нейтральний атом або молекула газу може приєднати до себе електрон, тоді виникнуть негативні іони. Під час іонізації атома або молекули газу має бути виконана робота іонізації, яка визначається силою взаємодії між електроном, який та іоном, який при цьому утворюється. Значення цієї роботи залежить від хімічної природи газу. Якщо атом або молекула втратить два електрони, то вони стають двократно іонізований і перетворюються двовалентний іон.

Поряд процесом іонізації газу відбувається процес рекомбінації перетворення іонів у нейтральні атоми або молекули. Якщо зовнішній припиняє дію, то провідність газу зменшується і газ уже не буде провідником. Якщо потужність іонізатора часом не змінюється, то між процесами іонізації рекомбінації динамічна рівновага, за якої кількість пар заряджених частинок, які утворюються, дорівнює середньому кількості пар іонів, які зникають внаслідок рекомбінації.

3. Робота газорозрядної лампи

Жевріючий розряд

Якщо із скляної трубки викачати повітря і до розміщених усередині неї електродів прикласти постійну напругу в кілька сотень вольт, то виникає газовий розряд при зниженому тиску, який назвали *жевріючим*.

Якщо газ розріджувати, то відстань між сусідніми атомами збільшуватиметься, а отже, збільшуватиметься і довжина вільного пробігу електрона (та іона). Внаслідок цього електрони можуть набути енергії, потрібної для ударної іонізації при меншій напруженості поля між електродами.

Якщо, не змінюючи напруги, поступово змінювати в трубці тиск, то спочатку виникає китичний розряд, потім – тонкий звивистий світний канал, який з'єднує електроди, а при тиску порядку 1-15 Па. До катода К прилягає тонкий світний шар 1 (його називають катодною плівкою), за яким розміщений катодний темний простір 2, потім - світний шар 3 (тліюче світіння) і другий темний простір 4, який називають фарадеевим темним простором. За другим темним простором розміщена світна область 5, яку називають позитивним стовпом.

Таке характерне світіння газу при жевріючому розряді пов'язане з розподілом потенціалу в розрядній трубці. Світіння позитивного стовпа визначається випромінюванням збуджених атомів, тому має характерний колір. Це використовують у світлових рекламах. Якщо трубку наповнити неоном, то виникає оранжево-червоне світіння, а якщо аргоном – синювато-зеленувате.

При певному режимі жевріючого розряду матеріал катода розпилюється; це використовують для металізації поверхонь, виготовлення малих дзеркал і напівпрозорих пластин.

4. Поняття про плазму

Під плазмою розуміють дуже іонізований газ, в якому концентрація електронів приблизно дорівнює концентрації позитивних іонів.

Чим вище температура газу, тим більше іонів і електронів у плазмі, тим менше залишається в ній нейтральних молекул. Таку плазму називають електроно – іонною.

Оскільки в плазмі концентрація електронів дорівнює концентрації іонів, в цілому її можна вважати електрично нейтральною, а об'ємний заряд у ній таким, що дорівнює нулю.

Властивості плазми

Плазма має ряд специфічних властивостей які відрізняють її від нейтральних газів. Ці відмінності дають можливість розглядати плазму як особливий, *четвертий стан речовини*.

- *Взаємодія частинок плазми між собою характеризується кулонівськими силами притягання і відштовхування.*
- *Частинки плазми, особливо електрони, легко переміщуються під дією електричного поля. Електричні і магнітні поля діють на плазму, внаслідок чого в ній утворюються об'ємні заряди і струми.*
- *за характером електропровідності плазма наближається до металів, тобто має дуже добру електропровідність. На відміну від металів провідність плазми зростає з підвищенням температури.*

Для свого існування плазма потребує безперервного підведення енергії ззовні.

Практичне застосування плазми

Газорозрядну плазму використовують у лазерах – квантових джерелах світла. Плазмотрони (плазмові генератори) широко застосовують у різних галузях техніки. За їх допомогою ріжуть і зварюють метали, наносять покриття,

Плазма – найбільш поширений у Всесвіті стан речовини. Усі зорі, у тому числі й Сонце, зоряні атмосфери, галактичні туманності і міжзоряне середовище – це четвертий стан речовини - плазма. З плазми складаються не тільки зорі, наша Земля оточена плазмовою оболонкою-іоносферою, за межами якої є радіаційні пояси, що оперізують Землю, в яких також є плазма. Процесами в навколо земній плазмі зумовлені магнітні бурі та полярні сяйва. Відбивання радіохвиль від іоносферної плазми забезпечує можливість далекого радіозв'язку на Землі.

Електричний струм у вакуумі

Вакуум — це стан газу, за якого тиск менший від атмосферного. Розрізняють низький, середній і високий вакуум.

Для створення високого вакууму необхідне розрідження, за якого в газі, що залишився, середня довжина вільного пробігу молекул більша за розміри посудини або відстані між електродами в посудині. Отже, якщо в посудині створений вакуум, то молекули в ньому майже не зіштовхуються між собою й пролітають вільно міжелектродний простір. При цьому вони зазнають зіткнення лише з електродами або зі стінками посудини.

Щоб у вакуумі існував струм, необхідно помістити у вакуум джерело вільних електронів. Найбільша концентрація вільних електронів у металах. Але за кімнатної температури вони не можуть покинути метал, тому що їх у ньому утримують сили кулонівського притягання до позитивних іонів. Для подолання цих сил електрону, щоб покинути поверхню металу, необхідно затратити певну енергію, яку називають роботою виходу.

Якщо кінетична енергія електрона перевищуватиме або дорівнюватиме роботі виходу, то він покине поверхню металу й стане вільним.

$$\frac{m_e v^2}{2} \geq A_{\text{вих}}.$$

Процес випускання електронів з поверхні металу називають емісією. Залежно від того, як була передана електронам необхідна енергія, розрізняють кілька видів емісії. Один з них — термоелектронна емісія.

- ***Випускання електронів нагрітими тілами називають термоелектронною емісією.***

Явище термоелектронної емісії призводить до того, що нагрітий металевий електрод безупинно випускає електрони. Електрони утворюють навколо електрода електронну хмару. Електрод при цьому заряджається позитивно, і під впливом електричного поля зарядженої хмари електрони із хмари частково повертаються на електрод.

Термоелектронна емісія

Є кілька способів надання електронам додаткової енергії, потрібної для видалення їх з металу: нагрівання, опромінення видимим або ультрафіолетовим світлом, дія потужного зовнішнього поля, бомбардування металів частинками. Дія цих факторів може спричинювати явище електронної емісії.

Термоелектронною емісією називають явище випромінювання електронів нагрітими металами. Електрони, які випромінюють нагріті метали, називають термоелектронами. У процесі нагрівання металу швидкість теплового руху вільних електронів зростає пропорційно T . При такій високій температурі розжарення швидкість окремих електронів настільки збільшується, що вони вилітають за межі металу.

У рівноважному стані число електронів, що покинули електрод за секунду, порівнює число електронів, які повернулися на електрод за цей час.

1. Електричний струм у вакуумі

Для існування струму необхідне виконання двох умов: наявність вільних заряджених частинок і електричного поля. Для створення цих умов у балон поміщають два електроди (катод і анод) і викачують з балона повітря. Внаслідок нагрівання катода з нього вилітають електрони. На катод подають негативний потенціал, на анод — позитивний.

Електричний струм у вакуумі являє собою напрямлений рух електронів, триманих у результаті термоелектронної емісії.

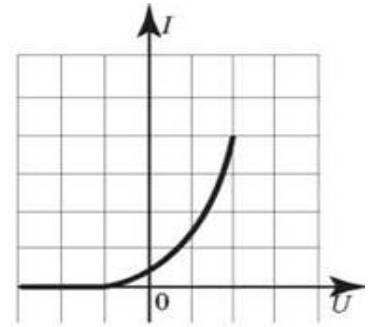
2. Вакуумний діод

Сучасний вакуумний діод складається зі скляного або металокерамічного балона, якого відкачано повітря до тиску 10^{-7} мм рт. ст. У балон упаяні два електроди, один

із яких — катод — має вигляд вертикального металевого циліндра, виготовленого з вольфраму й покритого зазвичай шаром оксидів лужноземельних металів.

Усередині катода розташований ізольований провідник, що його нагріває змінний струм. Нагрітий катод випускає електрони, що досягають анода. Анод лампи являє собою круглий або овальний циліндр, що має загальну вісь із катодом.

Однобічна провідність вакуумного діода обумовлена тим, що внаслідок нагрівання електрони вилітають із гарячого катода й рухаються до холодного анода. Електрони можуть рухатися через діод тільки від катода до анода (тобто електричний струм може протікати тільки у зворотному напрямку: від анода до катода).

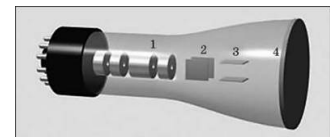


На рисунку відтворено вольт-амперну характеристику вакуумного діода (негативне значення напруги відповідає випадку, коли потенціал катода вищий від потенціалу анода, тобто електричне поле «намагається» повернути електрони назад на катод).

Вакуумні діоди використовують для випрямлення змінного струму. Якщо помістити між катодом і анодом ще один електрод (сітку), то навіть незначна зміна напруги між сіткою й катодом істотно впливатиме на анодний струм. Така електронна лампа (тріод) дозволяє підсилювати слабкі електричні сигнали. Тому певний час ці лампи були основними елементами електронних пристроїв.

Електронно-променева трубка

Електричний струм у вакуумі застосовували в електронно-променевій трубці (ЕПТ), без якої тривалий час не можна було уявити телевізор або осцилограф.



На рисунку спрощено показано конструкцію ЕПТ.

Електронна «гармата» у горловині трубки — катод, що випускає інтенсивний пучок електронів. Спеціальна система циліндрів з отворами (1) фокусує цей пучок, робить його вузьким. Коли електрони потрапляють на екран (4), він починає світитися. Керувати потоком електронів можна за допомогою вертикальних (2) або горизонтальних (3) пластин.

Електронам у вакуумі можна передати значну енергію. Електронні пучки можна застосовувати навіть для плавлення металів у вакуумі.