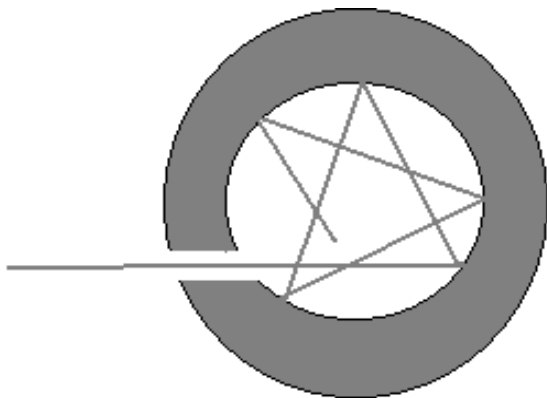


ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
і.м. М. КОЦЮБІНСЬКОГО
ІНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ, ФІЗИКИ І ТЕХНОЛОГІЧНОЇ
ОСВІТИ
КАФЕДРА ФІЗИКИ

Білюк А.І.

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
АТОМНА І ЯДЕРНА ФІЗИКА (КВАНТОВА ФІЗИКА)



Вінниця – 2011

УДК 53(07)

Лабораторний практикум з атомної і ядерної фізики . Білюк А.І. – Вінниця: ВДПУ, 2011 р. – 97с.

У посібнику розглянуто основні методи вимірювання фізичних величин, класифікацію похибок вимірювання і обробку результатів фізичного експерименту сучасними методами. Описано лабораторні роботи з квантової фізики. Основну увагу приділено принципам і методам вивчення фізичних явищ, техніці виконання лабораторних робіт.

Для студентів фізико-математичних спеціальностей педагогічних вузів.

Рецензенти: **Яремчук В.Ф.**, кандидат технічних наук, доцент.

Технічний редактор: Олійник С.С.

Рекомендовано до друку на засіданні кафедри фізики від 2011р., протокол № 7 від 5.01.2011 р.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Фізика – це наука, яка вивчає прості і разом з тим найбільш загальні закономірності явищ природи, властивостей і будови матерії та закони її руху. Фізика і її закони лежать в основі всього природознавства. Глибоке вивчення фізики грає надзвичайно важливу роль в встановленні вчителя фізики.

Найбільш розумним методом викладання фізики є метод, при якому основні елементи викладання відповідають основним елементам процесу наукового пізнання. Велика в цьому роль самостійної роботи студентів. Робота в лабораторії, аналіз лекційного теоретичного матеріалу і лекційних експериментів, вивчення літератури, робота над конспектом, активна участь в семінарах – все це відповідає основним елементам сучасної наукової діяльності. Вивчення фізики немислиме без лабораторних занять. Чому ж необхідно навчитися в фізичній лабораторії?

1.1 Мета та зміст лабораторного практикуму

Даний цикл лабораторних робіт має поглибити теоретичні знання студентів, ознайомити їх з технічними засобами і методами точних вимірювань, з більш повними дослідженнями фізичних явищ порівняно до тих, що виконуються способом лекційного експерименту.

В процесі виконання лабораторних завдань студент дістає можливість перевірити на практиці основні фізичні закономірності, набути навичок в користуванні фізичними приладами, засвоїти методику фізичних досліджень і способи обробки результатів вимірювань. Лабораторний практикум сприяє розвитку спостережливості, конструктивного мислення, інтересу до предмета та творчого підходу до набуття знань.

Виконання кожної лабораторної роботи складається з декількох етапів: теоретичної підготовки, поглибленого ознайомлення з приладами та опитування з методики досліджень, допуску до виконання лабораторних робіт, проведення лабораторного експерименту, статистичної обробки результатів з допомогою ЕОМ, оцінки точності вимірювань, подання результатів у вигляді графіків, таблиць, написання висновків, захист робіт та одержання заліку. Важливе значення має вступне заняття, де викладач знайомить студентів з правилами поведінки та техніки безпеки, принципами організації практикуму, вимогами щодо оформлення звітів і математичної обробки результатів досліджень.

1.2 Заходи безпеки при роботі в лабораторії квантової фізики

При виконанні лабораторних робіт, викладених у даному посібнику, використовуються тільки закриті γ , β , α -активні ізотопи. Закритими

радіоактивними ізотопами називаються тверді, рідинні та газоподібні препарати, вміщені у міцні металеві, скляні або пластмасові оболонки. Це виключає можливість зараження радіоактивними речовинами повітря приміщення, робочих місць, рук та попадання їх в середину організму.

Таким чином, ці ізотопи можуть бути небезпечні тільки як зовнішні випромінювачі.

Правила поведінки з радіоактивними ізотопами:

1. Відкривати оболонки радіоактивних препаратів категорично забороняється.

2. Переносити ізотопи, витягувати їх із захисних контейнерів необхідно спеціальними щипцями і тримати від тіла на відстані не меншій 50 см.

3. Під час підготовки (складання електричної схеми, регулювання окремих приладів тощо) та проведення вимірювань, не зв'язаних з дією випромінювання, захисні контейнери з радіоактивними речовинами повинні бути закриті. Відкривати контейнери дозволяється лише на час, необхідний для вимірювань.

4. При виконанні експерименту робоче місце потрібно вибирати на відстані, не меншій 50 см від контейнера, не обпираючись на нього і не стояти проти відкритого робочого отвору.

5. Час роботи із закритими радіоактивними ізотопами регламентується дозами опромінювання, одержуваними особами, які знаходяться у лабораторії. Гранично допустимими дозами опромінювання відповідають потужності дози (рівні радіації) при роботі на протязі: 2 год 8,35 мбер/год; 4 год 4,17 мбер/год; 6 год 2,80 мбер/год.

6. Усіх осіб, які працюють у лабораторії з радіоактивними препаратами, необхідно забезпечити дозиметрами для індивідуального контролю опромінювання.

1.3 Оцінка точності результатів експерименту

При експериментальних вимірюваннях різних фізичних величин, а також при обчисленнях з допомогою формул, виникає необхідність врахування похибок або помилок вимірювань. Похибки розділяють на систематичні та випадкові. Систематичні похибки виникають в результаті зіпсованості вимірювальних приладів, помилковості самого методу вимірювань або інших недоглядів зі сторони дослідника. Випадкові похибки обумовлені неточністю рахування даних та іншими відхиленнями ймовірнісного типу. Для одержання найбільш достовірних величин необхідно проводити велику кількість вимірювань.

Оцінка точності прямих вимірювань

Нехай x_1, x_2, \dots, x_n – оцінка n вимірювань деякої фізичної величини. Тоді середнє арифметичне значення виміряної величини:

$$x = \pm \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Похибки середнього результату вимірювань:

а) середня абсолютна похибка:

$$x = \pm \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |x - x_i|. \quad (2)$$

б) відносна похибка вимірювання:

$$E = \pm \frac{\Delta x}{x}. \quad (3)$$

в) середня квадратична похибка:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (x - x_i)^2}. \quad (4)$$

г) середня квадратична похибка середнього арифметичного:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (x - x_i)^2}. \quad (5)$$

Гранична абсолютна похибка Δx_m визначається співвідношенням:

$$\Delta x_m = \pm t_{(\alpha, k)} \cdot \sigma_n, \quad (6)$$

де $t_{(\alpha, k)}$ – нормований коефіцієнт Стюдента (див. додаток 1),

$k = n - 1$ – число ступеней вільності,

α – імовірність або коефіцієнт надійності (для наших лабораторних робіт беремо $\alpha = 0.95$),

n – кількість вимірювань.

Результат вимірювань записується у вигляді:

$$x_{ist} = x \pm \Delta x_m.$$

Оцінка точності непрямих вимірювань

Похибки посередніх вимірювань визначаються за похибками безпосередньо виміряних величин. Формули для обчислення похибок посередніх вимірювань залежать від виду функції шуканої величини; знаходять їх за допомогою диференціального числення.

Розглянемо найпростіший випадок, коли шукана функція є функцією одного аргументу,

$$k = f(x). \quad (7)$$

Тоді середня абсолютна похибка вимірюваної величини x є $\pm dx$, яка викликає похибку досліджуваної величини $\pm dk$. Остання визначається співвідношенням:

$$dk = \pm dx \frac{df(x)}{dx}. \quad (8)$$

Отже, відносна похибка вимірювання:

$$E = \pm \frac{dk}{k} = \pm \frac{dx}{f(x)} \cdot \frac{df(x)}{dx}. \quad (9)$$

Тобто відносна похибка обчислення функції однієї змінної рівна диференціалу натурального логарифма цієї функції:

$$E = \pm d[\ln f(x)]. \quad (10)$$

Якщо величина k є функцією кількох змінних $k = f(x, y, z, \dots)$, то максимальна абсолютна похибка при цьому буде:

$$\Delta k = \pm \left[\left| \frac{\partial f}{\partial x} dx \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial y} dy \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial z} dz \right| + \dots \right]. \quad (11)$$

Відносну похибку функції декількох змінних знайдемо з виразу:

$$E = \pm d[\ln f(x, y, z, \dots)] = \pm \left[\left| \frac{\Delta x}{x} \right| + \left| \frac{\Delta y}{y} \right| + \left| \frac{\Delta z}{z} \right| + \dots \right]. \quad (12)$$

Кінцевий результат обрахунків вимірної величини повинен бути записаний у вигляді:

$$k_{ist} = k \pm \Delta k_m.$$

Класи точності приладів

Для характеристики більшості вимірювальних приладів часто користуються поняттям приведеної похибки E_p (класу точності).

Приведена похибка – це відношення абсолютної похибки Δx до граничного значення x_h вимірювальної величини (тобто до найбільшого значення, яке може бути виміряне шкалою приладу). Приведена похибка, є по суті відносною похибкою, і виражається в процентах:

$$E_p = \left| \frac{\Delta x}{x_h} \right| \cdot 100\%.$$

Клас точності приладу приведено на його шкалі (0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4%). За шкалою приладу визначається клас точності і граничне значення вимірювальної величини, а далі розраховують його абсолютну похибку, яку приймають однаковою по всій шкалі, згідно

співвідношення:

$$\Delta x = \pm \left(\frac{E_p}{100} \right) \cdot x_h.$$

Для оптимального використання приладів їх підбирають так, щоб значення вимірювальної величини припадало на кінець його шкали, це зменшить відносну похибку і наблизить її до класу точності приладу. В тих випадках коли на приладах клас точності не вказано, то абсолютну похибку приймають рівною половини ціни найменшої поділки. Для таких приладів, як штангенциркуль та мікрометр, за абсолютну похибку беруть ціну найменшої поділки ноніуса, а для секундоміра – ціну найменшої поділки.

1.4 Графічне подання результатів експерименту

В більшості випадків експериментального вивчення різних фізичних явищ доцільно показати одержані залежності у вигляді графіків.

Як оцінити, чи узгоджуються результати досліду з очікуваною величиною, яку отримаємо із залежності між вимірними величинами. Наглядно це можна отримати, якщо зіставити теоретичну криву і знайдені експериментально точки. Особливо зручно перевірити чи співпадають ці точки з прямою. Тому при побудові графіків бажано вибирати такі координати, щоб очікувана залежність була лінійною.

Зауважимо, що значення величин, які знайдені внаслідок вимірювання їх, є наближеними. Тому замість x потрібно відкладати $x \pm \Delta x$, а замість y – число $y \pm \Delta y$; інакше кажучи замість точок на лист потрібно наносити хрестики, в яких довжини вертикальних і горизонтальних відрізків пропорційні похибкам вимірювання відповідних величин.

1.5 Підготовка до виконання лабораторних робіт

Готуючись до лабораторної роботи, необхідно ретельно вивчити вказівки до даної роботи та пункти загальних вказівок. Теоретичні відомості в інструкції викладені коротко і не можуть замінити підручника. Тому для уточнення та більш глибокого вивчення деяких питань теорії треба познайомитися з рекомендованою літературою.

Викладач перевіряє підготовку студентів, які повинні відповісти на контрольні запитання, вміщені в кінці лабораторної роботи, і мати при собі підготовлений конспект опису роботи з формулами, схемами установок та формами таблиць для запису результатів вимірювань. Якщо студент не підготувався, то викладач не допускає його до виконання лабораторної роботи. Студент повинен підготуватися і виконати її в день відробок чи консультацій, але не пізніше наступного заняття.

Звіт про виконану роботу складається і здається в день її виконання

або не пізніше наступного заняття. Він має містити: назву лабораторної роботи, перелік використаних приладів та матеріалів, мету роботи, завдання, блок – схеми установок та приладів, робочі формули, таблиці з результатами вимірювань та обчислень, графіки, обчислені похибки, кінцевий результат вимірювань та висновки.

Лабораторна робота №1

Якісна перевірка закону Кірхгофа

Прилади і матеріали: 1) електрична лампа на 60 Вт; 2) регулятор напруги РНШ-250; 3) амперметр Э513; 4) вольтметр Э515; 5) пірометр ОППИР-017.

Теоретичні відомості та опис приладів:

Закон Кірхгофа точно виконується для спектральних та інтегральних величин. Він встановлює зв'язок між здатністю тіла випускати енергію та поглинати її у вигляді випромінювання. Всяке тіло може випускати випромінювання лише у тих областях спектра, в яких воно має відмінну від нуля поглинальну здатність. Кількість енергії, яка випускається тілом при температурі T , чисельно дорівнює кількості енергії, яку воно поглинуло б при опроміненні його випромінюванням абсолютно чорного тіла з тією самою температурою T $E_m/E_{чТ} = A_m$. Оскільки для нечорних тіл $A_m < 1$, то

$$E_m/E_{чТ} < 1. \quad (1)$$

Якщо вважати, що в нитці розжарення вся електрична енергія перетворюється на енергію випромінювання, то можна записати

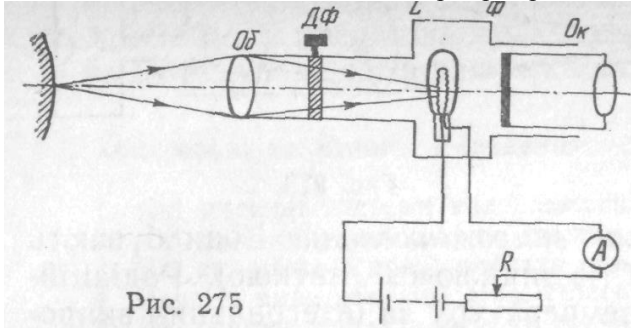
$$E = \phi/5 = IIII, \quad (2)$$

де 5 — ефективна випромінююча поверхня нитки; $I, I/$ — сила струму лампи і напруга на ній при даній температурі розжарення. Тоді (2) з урахуванням (д) і (1) матиме вигляд

$$E_m/E_{чТ} = III/(3oT^*) < 1. \quad (3)$$

Для ниток складної форми (спіралей) ефективна випромінююча поверхня менша за геометричну, оскільки окремі витки обмінюються випромінюванням один з одним. Її значення задається окремо для лампи відповідної потужності.

Виконання завдання I зводиться до перевірки рівності (3).



Порядок виконання роботи:

1. Зібрати електричне коло з вольфрамовою лампою розжарювання, амперметром та вольтметром.
2. Підімкнути до джерела напруги пірометр та перевірити його роботу, змінюючи опором струм через еталонну лампу.
3. Направити об'єктив пірометра на розжарену нитку вольфрамової лампи. Зміщуючи тубус окуляра, домогтися різкого зображення нитки.
4. Обертаючи кільце реостата пірометра, зрівняти яскравості нит- , ки досліджуваної лампи та еталонної. Записати значення температури.
5. Напругу змінювати через кожні 20 В від 80 до 200 В. Для кожного значення напруги виміряти температуру.
6. Побудувати графік залежності $E/E_{ет} = f(T)$ та пояснити його.

Контрольні запитання:

1. Що називають тепловим випромінюванням і яка його відмінність від інших видів випромінювання?
2. Що таке сіре тіло і чим пояснити таку назву?
3. В якому діапазоні довжин хвиль випускає випромінювання поверхня тіла людини?
4. Що таке оптична пірометрія?

Лабораторна робота № 2

Якісна перевірка закону зміщення Віна

Прилади і матеріали:

1)електрична лампа розжарювання; 2)оптичний пірометр ОППІР-017; 3)фотоелемент; 4)світлофільтри; 5)мікроамперметр.

Теоретичні відомості та опис приладів

Формула Планка для випромінювання абсолютно чорного тіла дає змогу побудувати ряд ізотерм. Кожна ізотерма характеризує розподіл енергії у спектрі випромінювання. Завдяки їй можна оцінити енергію, що припадає на різні ділянки спектра. Довжина хвилі, на яку припадає максимум спектральної випускної здатності, визначається законом зміщення Віна (v). Його аналіз показує, що при підвищенні температури максимум спектральної випромінювальної здатності переміщується у сторону коротких довжин хвиль. Тому відношення випромінювальної здатності розжареного тіла у синій та червоній ділянках видимого спектра повинно зростати з підвищенням температури:

$$(E_T)_c / (E_T)_z = f(T) \quad (1)$$

Якщо експериментально виміряти потоки випромінювання у двох ділянках спектра, то функція $f(T)$ повинна зростати з підвищенням температури. Світловий потік можна оцінити за допомогою фотоелемента, струм у колі якого пропорційний спектральній випромінювальній здатності розжареного тіла в певних областях спектра. Тому відношення фотострумів буде такою ж зростаючою функцією температури, як і для спектральних випромінювальних здатностей (1):

$$I_c(T) / I_z(T) = f_1(T) \quad (2)$$

Схему установки зображено на рис. 1.

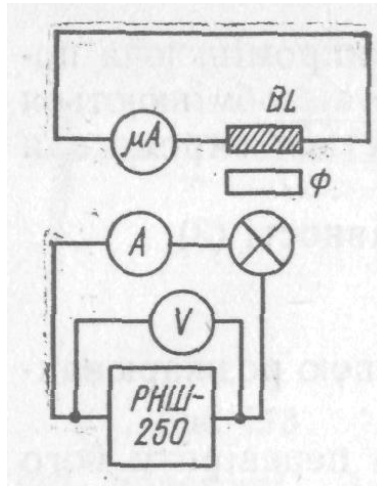


рис. 1

Порядок виконання роботи

1. Увімкнути електричну лампу розжарювання в освітлювальну мережу через регулятор напруги РНШ-250.
2. Подати на лампу напругу 100 В, оптичним пірометром виміряти температуру.
3. На шляху потоку від досліджуваної лампи розташувати червоний світлофільтр КС-13.
4. Змінюючи напругу на лампі через кожні 20 В, виміряти температуру нитки та зафіксувати покази мікроамперметра у колі фотоелемента.
5. Зробити аналогічні вимірювання для світлофільтра СС-1 та побудувати графік за рівнянням (2).

Контрольні запитання

1. Як дістати математичний запис закону зміщення Віна з формули Планка?
2. Яку температуру має нагріте тіло, якщо більша частина його випромінювання лежить в ультрафіолетовій ділянці спектра?
3. Для яких тіл радіаційна температура дорівнює яскравістній?

Лабораторна робота №3

ВИЯВЛЕННЯ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНІ СИГНАЛІЗАТОРОМ СЗБ2-2ЕМ ТА ВИМІРЮВАННЯ ДОЗ ГАМА-ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета: Навчитися працювати з приладами по виявленню радіоактивного забруднення поверхні та вимірювання доз γ -випромінювання.

Прилади та матеріали: СЗБ2-2ЕМ, комплект зразків забруднених поверхонь, комплект КІД-1, дозиметр кишеньковий ДК-0.2, зарядний пристрій ЗД-5, дозиметр „Белла”.

Теоретичні відомості

1. Вимірювання радіоактивного забруднення приладом СЗБ2-2ЕМ.

Забруднення поверхонь столів, пола, стін та ін. може бути виявлене різними способами. Одним із таких способів є метод мазків. В цьому випадку на поверхні, що контролюється, вибирається декілька ділянок певної площі (150 см²), ці ділянки протираються вологими ганчірками або паперу стандартних розмірів.

Радіоактивне забруднення з поверхні, що обстежувалась, переносять на взяті мазка на матеріал, яким виконується протирання поверхні. Вимірювання чи випромінювання мазка проводиться на стаціонарному пристрої. Після вимірювання активності мазка та коефіцієнта зняття забрудненості при взятті мазка визначається радіоактивне забруднення поверхні.

Більш швидким являється метод вимірювання рад. Забруднення поверхні за допомогою сигналізатора забрудненості β -активними речовинами СЗБ2-2ЕМ. Даний прилад використовується для сигналізації про забруднення рук та обладнання β -активними речовинами. Прилад забезпечує включення сигналізації при досягненні рівня β -випромінювання за даного порогового значення. Прилад забезпечує вивід інформації про забруднення поверхні на табло “ЧИСТО” та “ГРЯЗНО”.

До складу приладу входять:

Пульт сигнальний
Блок детектування
Провідники.

Підготовка приладу до роботи

Увімкніть прилад у мережу 220В, прогрійте 5 хв.

Увімкніть кнопку “таймер”.

Положіть об’єкт, що досліджується, на відкидну планку блоку детектування і притисніть її. При цьому засвітиться табло “ИЗМЕРЕНИЕ”. Не відпускаючи планку, дочекайтесь ввімкнення табло “ГРЯЗНО” або “ЧИСТО”.

Плавно відпустіть планку.

Хід роботи

Вивчіть будову та принцип дії приладу СЗБ2-2ЕМ.

Проведіть вимірювання забрудненості рук.

Проведіть вимірювання забрудненості зразків.

Результати досліджень занести до таблиці.

2. Вимірювання доз гама-випромінювання за допомогою дозиметра „Бела”

Дозиметр БЕЛА призначений для виявлення і оцінки за допомогою звукової сигналізації інтенсивності гамма-випромінювання, а також для випромінювання потужності польової еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання по цифровому індикатору. Результати вимірювань цим приладом не можуть використовуватися для офіційних висновків про радіаційні обставини.

Дозиметр має два режими роботи: ПОШУК і ПЕД.

Режим ПОШУК служить для грубої оцінки радіаційної обстановки частоти проходження звукових сигналів.

Режим ПЕД служить для вимірювання потужності еквівалентної дози по цифровому індикатору.

Вимірювання ПЕД здійснюється автоматично з інтервалом часу біля 40 с, або вручну, шляхом короткочасного натиснення на кнопку ПЕД-КОНТР.ЖИВЛЕННЯ.

Час вимірювання близько 40 секунд, при цьому на цифровому індикаторі після кожного розряду з'являються чотири крапки.

Зникання крапок після 1,2,4 розрядів сигналізує про закінчення процесу вимірювання.

Дозиметр забезпечує безперервну звукову і світлову сигналізацію про переміщення верхньої межі діапазону випромінювання 99,99 мкЗв/г (переповнювання цифрового табло) до значення потужності еквівалентної дози не більше 1,0 мЗв/г

Розташування і призначення органів управління і індикації показані на рис. 1.

ПІДГОТОВКА ДОЗИМЕТРА ДО РОБОТИ

1. Встановіть вимикач живлення і режиму ПОШУК в положення відключено (нижнє положення).
2. Встановіть батарею типа „Корунд” у відділ живлення дозиметра.
3. Переконайтеся у тому, що напруга батареї живлення знаходиться не нижче мінімально-допустимого значення, для чого натисніть на кнопку Д-КОНТР.ЖИВЛЕННЯ. При цьому повинен загорітися індикатор напруги батареї живлення.

Увага! Відсутність свічення індикатора напруги батареї живлення при натисненні на кнопку інформує, що батарея розрядилася, потрібна її зміна.

4. Вимкнення живлення дозиметра здійснюється перекладом вимикача живлення в нижнє положення, при цьому інформація на

цифровому табло зникає не миттєво, а через декілька секунд.

ПОРЯДОК РОБОТИ З ДОЗИМЕТРОМ

Робота в режимі ПОШУК

1. Увімкніть дозиметр, при цьому на цифровому табло повинні бути висвітлені нулі.
2. Ввімкніть режим ПОШУК, для цього вимикач переведіть в положення ПОШУК.
3. При природному фоновому випромінювання дозиметр повинен подавати 10-60 звукових сигналів в хвилину. Із збільшенням інтенсивності гамма-випромінювання пропорційно зростає частота проходження звукових сигналів.

Робота в режимі вимірювання ПЕД.

1. Підготуйте дозиметр до роботи. Вимірювання ПЕД можна проводити в будь-якому положення вимикача ПОШУК, при цьому в нижньому положенні вимикача ПОШУК звукова сигналізація відключається.
2. Ввімкніть дозиметр, при цьому на цифровому табло повинні відображатися нулі і крапки після кожного розряду (цифри). Наявність крапок після кожного розряду (цифри) говорить про те, що відбувається вимірювання ПЕД. При цьому свічення на цифровому табло дозиметра змінюватимуться.
3. Вимірювання ПЕД триває близько 40 секунд. Потім крапки після 1, 2, 4 розрядів зникають, вимірювання ПЕД закінчиться, свічення дозиметра перестануть змінюватися і на його табло зберігатиметься зміряне.
4. Свічення на табло дозиметра зберігатимуться близько 40 секунд, після чого цифри автоматично скинуться на нуль. знову з'являться крапки після кожної цифри і почнеться наступний вимір ПЕД і т. д.
5. Вимірювання ПЕД можна почати у будь-який момент не чекаючи закінчення попереднього виміру або не чекаючи автоматичного початку наступного виміру. Для цього необхідно короткочасно натискати кнопку ПЕД-КОНТР.ЖИВЛЕННЯ. При цьому з'являться крапки після кожного розряду (цифри) і почнеться вимірювання ПЕД, яке також триватиме близько 40 секунд.

Примітка. Оскільки дозиметр починає вимірювати ПЕД із заданою точністю через 10 після включення, перший вимір при автоматичному режимі необхідно не враховувати, або після закінчення не менше 10 секунд після включення дозиметра необхідно короткочасно натискати кнопку ПЕД-КОНТР.ЖИВЛЕННЯ, при цьому час вимірювання відлічуватиметься з моменту натиснення кнопки.

6. Для більш точного визначення ПЕД зовнішнього гамма необхідно зняти не менше 5 свідчень ПЕД і обчислити середнє арифметичне значення. Для отримання значення МЕД в мкР/г ($\mu\text{R/h}$) необхідно

покази динамометра помножити на 100. Наприклад, якщо дозиметр показав 0,23 (мкЗв/г), то

$$0,23 \text{ (мкЗв/г)} \cdot 100 = 23 \text{ (мкР/г)}$$

7. Якщо в процесі вимірювання ПЕД значення ПЕД перевищить 99,99 мкЗв/г, то при будь-якому положенні вимикача ПОШУК спрацює безперервна звукова і світлова сигналізація.

3. Вимірювання доз гама-випромінювання за допомогою дозиметра КІД 1

Рентгенівські і гама-промені шкідливо впливають на живий організм. Ця небезпека пояснюється великою проникною здатністю променів, які можуть пошкодити всі органи і тканини людини. Під дією випромінювання відбувається іонізація атомів і молекул, які входять до складу організму. Це призводить до розриву молекулярних зв'язків і зміни хімічної структури різних сполук. Все це порушує нормальну життєдіяльність клітин людського організму.

Згідно з санітарними нормами гранично допустима доза становить 0,5 Р за восьмигодинний робочий день.

Для безпеки людини при роботі з радіоактивними речовинами використовують різні захисні способи та прилади індивідуального дозиметричного контролю.

В даній роботі дозу випромінювання визначають одним із приладів індивідуального дозиметричного контролю КІД-1 для рентгенівського та гама-випромінювання з енергією фотонів 115 KeV до 2 MeV.

В комплект приладу входять зарядно вимірювальний пульт і набір подвійних конденсаторних камер індивідуального контролю. Прилад дає змогу вимірювати дозу гама-променів від 0,02 до 2 Р.

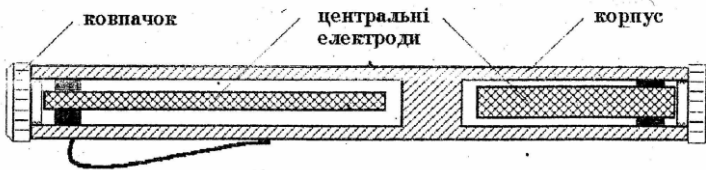
Вимірювання дози зводиться до вимірювання заряду або напруги на конденсаторній камері після її опромінення. Справді, коли зарядити конденсатор до певної напруги і помістити в зоні опромінення, то під дією гама-променів в його об'ємі утворюватимуться іони, які будуть розряджати конденсатор. Зменшення напруги між електродами буде пропорційне кількості утворених іонів, отже, дози поглинання випромінювання. Камера інд. контролю побудована у вигляді двох циліндричних конденсаторів (Рис.1) спільний корпус камери 1 має два відокремлених об'єми. В них ізольовано від корпусу закріплено два осьових електроди. Кожний електрод з корпусом утворює циліндричний конденсатор. Один з них має ємність 303 пф і розрахований на вимірювання дози до 0,2 Р, другий ємністю 4,15 пф – до 2 Р. Камери заряджаються до напруги порядку 100 В: на центральний електрод подається мінус, на корпус плюс. Для вимірювання напруги на камері використовують ламповий вольтметр.

На передній панелі зарядно вимірювального пульта містяться всі елементи керування і індикації приладу з відповідними записами. Прилад має дві шкали про градуйовані в рентгенах для двох різних діапазонів вимірювання доз.

Щоб привести прилад в дію треба:

- а) увімкнути вилку кабелю в розетку змінного струму на 220 В;
- б) тумблер живлення поставити в положення “Вкл”, при цьому має загорітись сигнальна лампочка, що вказує діапазон вимірювання до 2 Р;
- в) поставити тумблер “Заряд-Измерение” в положення “Заряд”. Стрілка вимірювального приладу повинна відхилитись на всю шкалу і зупинитись на нулі в межах чорної ділянки шкали. Коли стрілка не стоїть на нулі, треба поворотом шліца, що міститься на правій бічній стінці приладу встановити стрілку на нуль;
- г) перевірити готовність приладу до роботи, для чого зарядити одну контрольну камеру з набору (№ 20) і зразу ж піддати її опроміненню подалі від приладу, після чого виміряти дозу випромінювання.

Для зарядки камери згвинтити її торцеві ковпачки і встановити спочатку одним, а потім другим кінцем у гніздо “Заряд”. Слідом за цим поставити тумблер “Заряд-Измерение” в положення “Измерение”, зняти захисний ковпачок з гнізда “Изм”. І встановити в нього контрольну камеру. Покази стрілки мають бути біля нуля в межах чорної ділянки шкали.



Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з розміщенням елементів керування на панелі приладу КІД-1.
2. Привести прилад КІД-1 в дію. Зарядити 10 довільних камер. (Після зарядки загвинтити ковпачки камер).
3. Опромінити γ -промінням камери № 1-10. Камеру №1 опромінювати протягом 10с, час опромінення кожної дальшої камери збільшувати на 10 с.
4. Увімкнути прилад КІД-1 і виміряти дози поглинання рентгенівських променів камери №1-10. Занести в протокол номер камери, час опромінювання, одержану дозу і потужність дози випромінювання.
5. За 10-15хв. До закінчення за допомогою 11-ї камери прикріпленої на початку заняття до одягу студента виміряти дозу опромінення.
6. Вимкнути прилад КІД-1, перевірити наявність на всіх камерах обох ковпачків і вкласти їх в футляр в порядку номерів.

Порядок виконання роботи

Для приведення дозиметра в дію його необхідно зарядити за допомогою зарядного пристрою Д-5:

Відгвинтити нижній наконечник дозиметра і захисний ковпачок зарядного гнізда ЗД-5.

Ручку потенціометра повернути вліво до кінця.

Дозиметр поставити в зарядне гніздо ЗД-5.

Спостерігаючи в окуляр, легко натиснути на дозиметр, повертаючи ручку потенціометра вправо до тих пір, поки зображення на шкалі дозиметра не перейде близько на дві поділки лівіше нуля після чого витягти дозиметр і доторкнутися пінцетом або металічною паличкою до контакту дозиметра.

Перевірити положення нитки при денному світлі: при вертикальному положенні нитки її зображення повинно бути на нулі.

Загвинтити нижній наконечник дозиметра і ковпачок зарядного гнізда.

Вимірювання доз γ -випромінювання за допомогою ДК-0,2

Дозиметр індивідуального користування ДК-0,2 дозволяє з достатньою точністю визначити дозу, отриману людиною при роботі з радіоактивними речовинами.

Основною частиною дозиметра є малогабаритна іонізаційна камера з “повітря еквівалентними” стінками.

Конденсатор утворений внутрішніми стінками камери та центральним електродом, заряджається до певного потенціалу.

При дії γ -випромінювання в робочому об’ємі камери повітря іонізується, а потенціал камери зменшується.

Зменшення потенціалу камери пропорційне дозі опромінення, тому, вимірюючи зміну потенціалу, можна судити про отриману дозу.

Вимірювання потенціалу камери виконується за допомогою мініатюрного електроскопу, що вмонтований всередину дозиметра. Відхилення рухомої системи електроскопа-кварцової нитки покритої платиною, вимірюється за допомогою розрахункового мікроскопу зі шкалою, що про градуйована в мілірентгенах.

Хід роботи

1. Вивчити будову та принцип дії дозиметра ДК-0,2.
2. Зарядити дозиметр.
3. Опромінити γ -промінням почергово камери, розчинаючи від 1-ї хв. Час опромінення кожної подальшої камери збільшити на одну хвилину.
4. Результати занести до таблиці:

Таблиця №1

№	Час опромінення	Доза, мР	Потужність дози, Р, мР/год
1			
2			
3			
4			

Контрольні запитання

1. Що таке α , β , γ -випромінювання? Яка його дія на організм людини?
2. Будова та призначення приладів СЗБ2-2ЕМ, КІД-1, ДК-0,2, „Белла”.
3. Які способи захисту від радіоактивного випромінювання?
4. Що таке доза опромінення, потужність дози, їх одиниці вимірювання?

Об'єкт забрудненості		Допустима забрудненість з 150 см ² в хвилину		
		α -частинок		β -частинок
	До очищення	Після очищення	До очищення	Після очищення
Руки	75	0	5000	0
Спецодяг	500	100	25000	500
Спецвзуття	500	200	25000	5000
Робоча поверхня обладнання	500	200	25000	5000

Лабораторна робота №4

ВИВЧЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО ФОТОЕФЕКТУ. ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ ПЛАНКА ТА РОБОТИ ВИХОДУ ЕЛЕКТРОНІВ

Прилади та матеріали: випрямляч, потенціометр, вольтметр, мікроамперметр, фотоелемент, освітлювач, набір світлофільтрів, з'єднувальні провідники.

Теоретичні відомості

В роботі використовується установка, схема якої подана згідно рівняння Ейнштейна:

$$h\nu = A + \frac{m\vartheta^2}{2}. \quad (1)$$

Енергія кванта світла $h\nu$ затрачається на виконання роботи виходу електрона A та на надання йому кінетичної енергії mv_{\max}^2 , при умові, що $h\nu > A$.

При освітленні катода фотоелемента монохроматичним світлом, частина фотоелектронів досягатиме анода і в колі потече струм. Стрілка мікроамперметра відхиляється від нульового положення. Якщо прикласти між катодом і анодом затримуючу напругу U , то фотострум зникне. Це буде при умові:

$$eU = mv_{\max}^2/2, \quad (2)$$

де e – заряд електрона.

Примітка: тут і далі записуватимемо рівняння для одного електрона. Тоді рівняння (1) перепишемо у вигляді:

$$h\nu = A + eU. \quad (3)$$

З рівності (3) випливає, що затримуюча напруга U залежить від частоти світла, що падає на фотоелемент. Якщо виміряти залежність затримуючої різниці потенціалів від частоти ν ; $U = f(\nu)$, то за допомогою графіка можна визначити сталу Планка і роботу виходу електрона A . Дійсно, рівняння (3) можна переписати у вигляді рівняння прямої:

$$U = (h/e) - A/e.$$

Величина h/e рівна тангенсу кута нахилу цієї прямої, а A/e – відрізок на осі U , що відсікається прямою від початку координат. Але:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\alpha &= \Delta U / \Delta \nu \\ h &= (e\Delta U) / (\Delta \nu) \end{aligned} \quad (4)$$

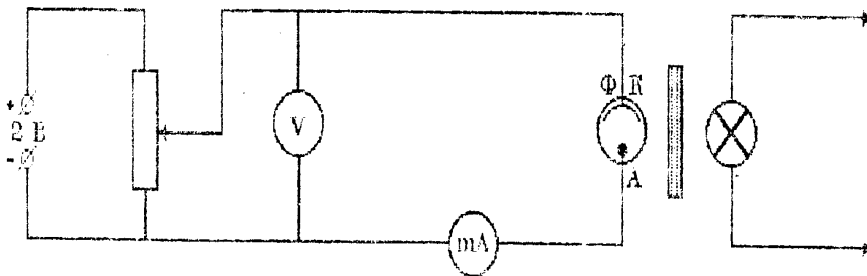
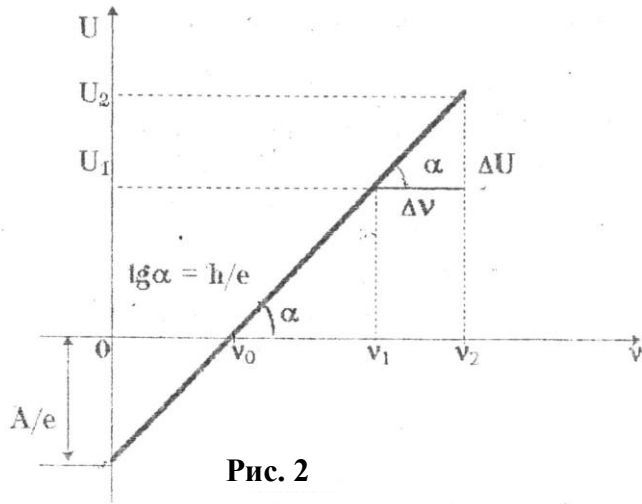
Роботу виходу електрона знаходимо за формулою:

$$A = h\nu_0 \quad (5)$$

де ν_0 – частота світла, при якій ще можливий фотоелемент.

$\nu = \nu_0$, при $U = 0$ (див. **Рис. 2**).

Отже, (4) та (5) – робочі формули.



Світлофільтр	Червоний	Жовтий	Зелений	Синій	Фіолетовий
частота 10^{14} c^{-1}	5.1	5.643	5.752	6.187	6.5

Завдання

1. Скласти схему за **Рис. 1**. Ручка регулювання напруги на випрямлячі встановлюється в крайнє ліве положення.

2. Помістити між фотоелементом та джерелом світла червоний світлофільтр. Увімкнути освітлювач, стрілка мікроамперметра відхилиться від нульового положення.

3. Щоб компенсувати фотострум, потрібно збільшувати затримуючу напругу за допомогою ручки потенціометра до тих пір, поки стрілка мікроамперметра встановиться на нуль. Записати значення U_1 .

4. Виключити освітлювач.

5. Дослід повторити для всіх світлофільтрів.

6. Побудувати графік залежності: $U = f(\nu)$.

7. За допомогою графіка визначити ν_0 .

8. За графіком та формулою (4) визначити $h_1; h_2; \dots h_i$.

9. Знаючи h , за формулою (5) обчислити роботу виходу електрона.

Контрольні запитання

1. Пояснити на основі формули Ейнштейна закони фотоелектру

2. Які труднощі пояснення I та II законів фотоелектру у хвильовій теорії світла?

3. Які ще є експериментальні підтвердження квантової природи світла?

4. Пояснити роботу вакуумного і газонаповненого фотоелементів.

5. Які основні характеристики фотоелементів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

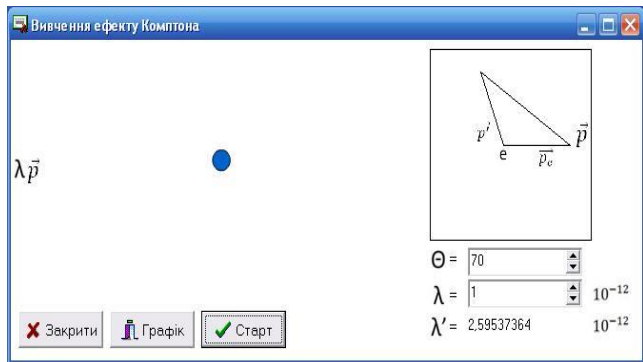
Вивчення ефекту Комптона

Мета роботи. Вивчити ефект Комптона та визначити комптонівську довжину хвилі електрона.

1. Методика виконання роботи

Лабораторна робота виконується за допомогою моделювання фізичних процесів комп'ютером з використанням програми Лабораторна робота.

Вигляд вікна цієї програми наведено на рис. 3.1. Значення θ — кута розсіювання та X — довжини хвилі випромінювання до розсіювання задаються перемикачами в правому нижньому куті вікна.



При натисканні кнопки «Старт» програма моделює розсіювання фотонів на електроні та видає:

- 1) векторну схему імпульсів частинок у верхньому правому куті цього вікна;
- 2) значення довжини хвилі фотона λ' після розсіювання (рис. 1);

2. Завдання до роботи

Вивчити класичну та квантову теорії світла, характеристики фотона, закони збереження енергії та імпульсу при взаємодії фотона з електроном, дістати формули для визначення зміни довжини хвилі $\Delta\lambda$ і комптонівської довжини хвилі для електрона.

3. Порядок виконання роботи

1. Дослідження розсіювання фотона на електроні.
 - 1.1. Установити довжину хвилі фотона до зіткнення з електроном $\lambda = 0,035$ нм.
 - 1.2. Визначити значення λ' — довжини хвилі фотона після розсіювання на електроні при значенні кута розсіювання фотона $\theta = 30^\circ$.

- 1.3. Повторити п. 1.1, 1.2 при значенні кута розсіювання фотона Θ від 40° до 160° із кроком 10° .
- 1.4. Занести значення λ' до табл. 1.
- 1.5. Повторити п. 1.1 — 1.4 при значенні $\lambda = 0,065$ нм та $\lambda = 0,095$ нм.

4. Обробка результатів

1. Визначення комптонівської довжини хвилі електрона.

1.1. Для кожного значення кута Θ у табл. 1 обчислити та занести до табл. 2 значення $\sin^2(\Theta/2)$

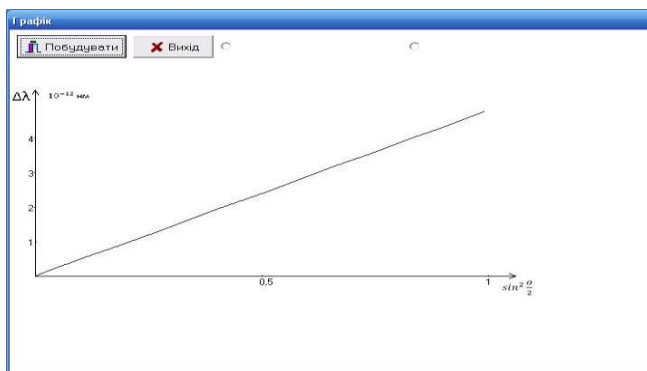
1.2. Використовуючи дані табл. 1, обчислити для деякого значення λ зміну довжини хвилі фотона $\Delta\lambda = \lambda - \lambda'$ та занести здобуті значення $\Delta\lambda$ до табл. 2.

1.3. Використовуючи дані табл. 2, побудувати графік залежності $\Delta\lambda$ від $\sin^2(\Theta/2)$ для деякого значення λ . Або натиснути «Графік» і у відкритому вікні «Побудувати»;

1.4.

Проаналізувати здобутий графік та пояснити його вигляд.

1. 5. Дані табл. 2 для $\sin^2(\Theta/2)$ та $\Delta\lambda$ при $\lambda = 0,065$ нм занести до табл. 3 та для кожного значення кута



обчислити комптонівську довжину хвилі електрона λ_k за формулою:

$$\lambda_k = \frac{\Delta\lambda}{\sin^2 \frac{\Theta}{2}}$$

1.6. Занести здобуті значення λ_k до табл. 3.

1.7. Обчислити λ_{kcp} — середнє арифметичне здобутих значень λ_k . Результат записати у вигляді: комптонівська довжина хвилі електрона $\lambda_{kcp} =$ нм. Порівняти його з табличним значенням.

Таблиця 1.

Кут θ, \dots°	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
$\lambda=0,035$	$\lambda', \text{нм}$													
$\lambda=0,065$	$\lambda', \text{нм}$													
$\lambda=0,095$	$\lambda', \text{нм}$													

Таблиця 2.

Кут θ, \dots°	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
$\sin^2(\theta/2)$														
$\lambda=0,350$ нм	$\Delta\lambda$ нм													
$\lambda=0,650$ нм	$\Delta\lambda$ нм													
$\lambda=0,950$ нм	$\Delta\lambda$ нм													

Таблиця 3.

Кут θ, \dots°	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
$\sin^2(\theta/2)$														
$\lambda=0,650$ нм	$\Delta\lambda$,нм													
$\lambda_{\text{Кср}}$														

Контрольні запитання:

1. В чому полягає ефект Компотна?
2. Квантове пояснення ефекту Компотна?
3. Чому при поясненні ефекту Компотна електрони можна вважати вільними?
4. Запишіть закони збереження для даного явища.
5. Вивести формулу для визначення $\Delta\lambda$.
6. Що таке комптонівська довжина хвилі електрона?
7. Чому у спектрі розсіяного випромінювання ефекту Компотна поряд зі зміщеною спектральною лінією спостерігається і незміщена спектральна лінія?
8. Можливе чи ні поглинання фотона вільним електроном та чому?

Лабораторна робота № 6

СПІВВІДНОШЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ ГЕЙЗЕНБЕРГА ДЛЯ ФОТОНІВ

Мета роботи: експериментальне підтвердження виконання співвідношення невизначеностей для фотонів.

Прилади та матеріали: лазер, щілина зі змінною шириною, екран, лінійка.

Теоретичні відомості

Нехай плоска хвиля $e_i(\omega t - k\lambda)$ падає на щілину шириною a (Рис. 1). Після щілини, світлові хвилі розповсюджуються у всі сторони. Більша частина енергії хвилі, що перейшла крізь щілину, припадає на сектор кутів:

$$0 < \varphi < \varphi_1,$$

де кут φ_1 , який відповідає напрямку на перший максимум, підпорядковується інтерференційній умові:

$$\Delta_1 = a \sin \varphi_1 = \lambda. \quad (1)$$

Співвідношення (1) визначає умовну границю $\varphi = \varphi_1$, спектри плоских хвиль на виході із щілини. Враховуючи те, що випромінювання розсіюється як на великі ($\varphi > \varphi_1$), так і на менші ($\varphi < \varphi_1$) кути, то можна записати наступну хвильову умову невизначеностей:

$$a \sin \varphi \leq \lambda, \quad (2)$$

якому підпорядковуються кути для більшої частини плоских хвиль, розсіяних на щілині. Нерівність (2) відноситься до хвиль будь-якої фізичної природи. Вона показує, що звуження щілини обов'язково

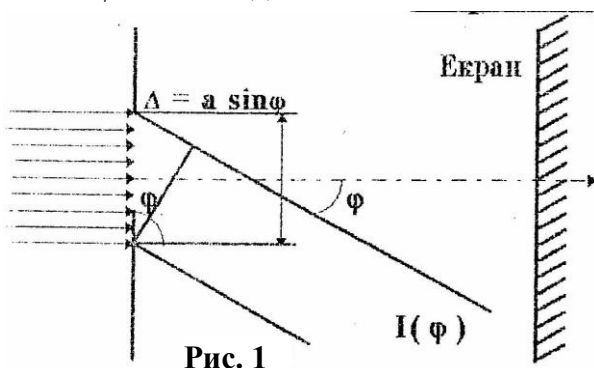


Рис. 1

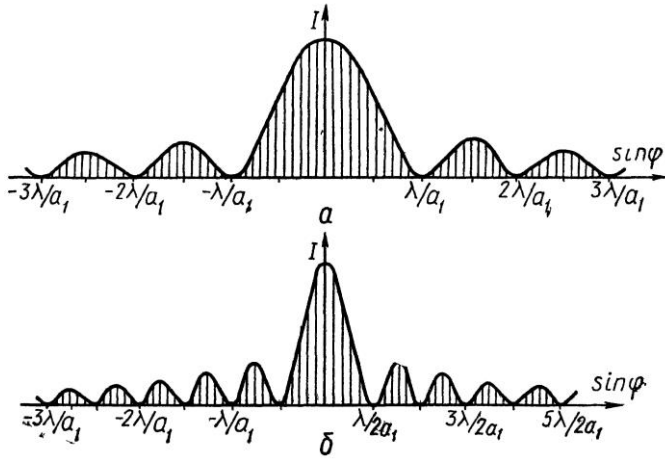


Рис. 2

супроводжується розширенням сектора, в якому зосереджене дифракційне поле для приладу. На **Рис. 2** показано розподіл інтенсивності по кутах для двох щілин різної ширини.

Із малюнка видно, що при збільшенні ширини щілини в два рази, тобто при $a_2=2a_1$, інтервал значень $\sin\varphi$, який відповідає центральному максимуму, зменшується в два рази.

Дане співвідношення можна записати і по другому, якщо представити електромагнітну (світлову) хвилю, як потік фотонів з енергією $E = \hbar\omega$ і імпульсом $P = \hbar k$. Нехай падаючі фотони мають тільки Z-компоненту імпульсу

$$P_{\text{пад}} = iz \hbar k = iz (h/\lambda).$$

Після проходження через щілину у фотоні з'являється X-компонента імпульсу (**Рис.3**):

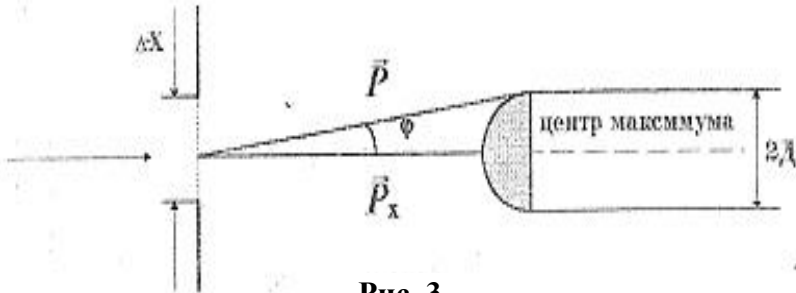


Рис. 3

$$P_x = \sin\varphi = h/\lambda \sin\varphi.$$

Для фотонів, які відхиляються на різні кути, значення P_x різні. Враховуючи співвідношення (2) маємо:

$$aP_x \leq h/\lambda. \quad (3)$$

Це співвідношення і записують у вигляді:

$$\Delta X \Delta P_x \geq h, \quad (4)$$

де $\Delta X = a$ – область локалізації (невизначеність місця знаходження) фотонів в площині екрану $Z = 0$, а $\Delta P_x = (h/\lambda) \sin\varphi$ – область значень (невизначеність) компонента імпульсу.

Співвідношення (4) показує, що добуток невизначеності координати на невизначеність відповідного їй імпульсу має величину порядку: $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$. Чим точніше визначена одна із цих величин, наприклад, чим менша щілина, через яку проходять фотони, тим менш визначеним стає імпульс P_x . І навпаки, чим ширша щілина ($\Delta x \rightarrow \infty$), тим більш визначеним стає імпульс ($\Delta P_x \rightarrow 0$). Якщо одна із величин і має визначене значення взагалі, то друга буде невизначеною.

В даній роботі співвідношення невизначеностей (4) перевіряється експериментально для фотонів. На практиці вимірюється ширина щілини, яка характеризує невизначеність координати фотона Δx . І ширина дифракційної картини, яка характеризує невизначеність поперечного імпульсу фотона ΔP_x .

Прилад для перевірки принципу невизначеностей складається з джерела монохроматичного випромінювання (гелій – неоновий лазер), регулюючої щілини і екрану, на якому спостерігається дифракційна картина (**Рис. 3**).

Хід роботи

Пучок світла, що випромінюється гелій – неоновим лазером проходить через калібровану щілину і попадає на екран із міліметрового паперу. Ціна поділки барабана щілини 0,01 мм.

Перевірка співвідношення невизначеностей

1. Встановити калібровану щілину так, щоб промінь лазера пройшов через її отвір і попав на екран.

2. Змінюючи розміри щілини від 0,05 мм до 0,4 мм через кожні 0,01-0,05 мм провести 10-12 вимірів, які полягають у визначеності ширини 2Д головного максимуму дифракційної картини, одержаної на екрані (**Рис. 3**). Виміри ширини головного максимуму проводити як при допомозі лінійки, так і шляхом підрахунку числа поділок міліметрового паперу який використовується як екран. Для збільшення точності вимірів встановіть калібровану щілину на віддалі не менше 1,5 м від екрану. Ширину максимуму визначайте по положенню темних смуг, які розміщені з обох сторін максимуму.

3. Результати вимірів Δx , $2D$, D – (половина ширини головного максимуму) занесіть в таблицю.

4. Побудувати графік залежності півширини головного максимуму D від розміру щілини Δx .

5. Визначить величину F для кожного виміру по формулі:

$$F = \frac{\Delta x D}{L \lambda},$$

де $\lambda = 6,33 \cdot 10^{-7}$ м – довжина хвилі випромінюваного світла.

L – віддаль від щілини до екрану. Переконайтесь, що ця величина пропорційна $\sin \varphi$ і практично не змінюється при Δx .

Контрольні запитання

1. Вивести співвідношення невизначеностей Гейзенберга.
2. Який фізичний зміст співвідношення невизначеностей Гейзенберга?
3. У відповідності з моделлю Бора, чому рівний момент імпульсу електрона в головному (основному) стані атома водню?
4. Чому рівна невизначеність моменту імпульсу електрона в основному стані атома водню?
5. Яка буде невизначеність кутового положення електрона в основному стані атома водню?
6. Положення тіла масою 1 г і положення електрона визначені з однаковою похибкою $\Delta x = 10^{-7}$. Оцінити квантомеханічну невизначеність $\Delta \mathcal{G}_x$ x -компоненти швидкості тіла й електрона.
7. Використовуючи співвідношення невизначеностей Гейзенберга, оцінити кінетичну енергію E_{\min} електрона, який локалізований у області простору з лінійними розмірами порядку:
а) $r \sim 10^{-10}$ м (атом); б) $r \sim 10^{-15}$ м (атомне ядро)

Лабораторна робота № 7

ВИВЧЕННЯ КВАНТОВОГО ОПТИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА (ЛАЗЕРА)

Мета: Вивчити фізичні основи стимульованого випромінювання і будову лазера, навчитися користуватися лазером для застосування його в школі, навчитися вимірювати кут розходження світлового пучка.

Прилади і матеріали: оптична лава, квантовий генератор ЛГ-126, масштабна лінійка, рулетка, дифракційна решітка, екран.

Правила техніки безпеки

1. Лазерна установка включається в мережу змінного струму напругою 220 В, небезпечною для життя, в генераторі накачування лазера використовується напруга 2900-4300 В, яка ще більш небезпечна. Тому, включати установку під електричну напругу дозволяється лише в присутності керівника занять. Джерело накачування повинно бути заземленим.

2. Категорично забороняється залишати лазер під напругою, виходячи на перерву.

3. Забороняється підставляти тіло людини під дію лазерного пучка, особливо небезпечне пряме попадання його в очі.

4. Студенту категорично забороняється проводити будь-які ремонтні операції в лазері, в т.ч. протирати його оптичні поверхні.

Теоретичні відомості

Лазери – це генератори електромагнітного випромінювання оптичного діапазону, дія яких ґрунтується на використанні індукованого (вимушеного) випускання. В деяких квантових системах можна штучно створити такі умови, при яких населеність верхнього енергетичного рівня E_2 буде більшою, ніж населеність нижнього рівня E_1 . Такий стан системи називають станом з інверсною населеністю рівнів, а середовище – інверсним або активним. Якщо в активне середовище вводиться фотон з частотою $U = (F_2 - F_1)/h$, то це викликає лавиноподібне народження нових фотонів за рахунок переходу атомів із стану E_2 у стан E_1 . Зрозуміло, що в середовищі відбуватимуться також переходи $E_1 \rightarrow E_2$, але їх кількість залишається досить малою, тому, що середовище інверсне.

У кожній області простору, заповненій активною речовиною, зростання інтенсивності електромагнітної хвилі буде пропорційне енергії самої хвилі:

$$di/dx = \alpha I_0, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт квантового підсилення речовини ;

I_0 – початкова інтенсивність хвилі.

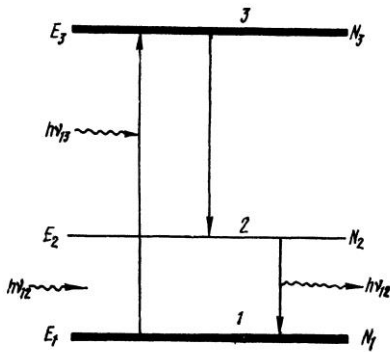


Рис. 1

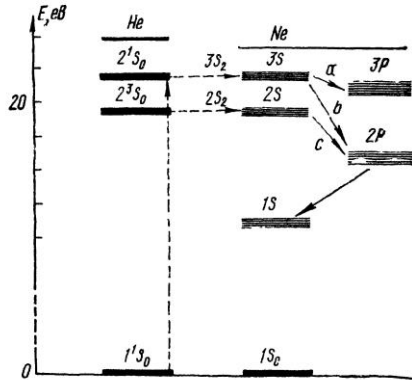


Рис. 2

У реальних речовинах завжди є фактори, які послаблюють інтенсивність – розсіяння на неоднорідностях, збудження іншої пари рівнів, невелике число переходів $E_1 \rightarrow E_2$, тощо. Тому, з урахуванням поглинання, формулу (1) можна записати так:

$$di/dx = (\alpha - \beta) I_0 \quad (2)$$

де характеризує втрати енергії в речовині. Розв'язавши (2), дістанемо закон зміни сумарної інтенсивності залежно від відстані, яку проходить хвиля в активній речовині:

$$I = I_0 \exp((\alpha - \beta)x). \quad (3)$$

Як бачимо з (3), обов'язковою умовою квантового підсилення, крім інверсної населеності рівнів, є виконання умови. Тобто, випускання активних атомів повинно з надлишком компенсувати втрати електромагнітної хвилі у речовині.

Для створення інверсної населеності рівнів використовується три або чотири рівневі системи. Причому серед рівнів повинен бути один, час життя на якому більший, ніж у інших (метастабільний рівень). Ширина E рівня та час життя атома на ньому t пов'язані співвідношенням невизначеності Гейзенберга:

$$E_1 t > h / 2. \quad (4)$$

Якщо час життя атома на рівні великий, то цей метастабільний рівень буде досить вузьким. Нехай існує трьохрівнева система (Рис. 1), де E_1 – основний рівень, E_2 – збуджений метастабільний (вузький) рівень, E_3 – збуджений короткоживучий (широкий) рівень. Спрямуємо на середовище пучок електромагнітних хвиль $h\nu_{1,3} = E_3 - E_1$, тоді частина атомів з енергетичного рівня 1 перейде на рівень 3 (здійсниться так звана накачка). Під час накачки відбувається поряд із зворотнім переходом $3 \rightarrow 1$ самочинні переходи $3 \rightarrow 2$, які інтенсивно збільшують

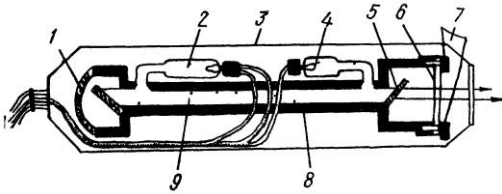
населеність рівня 2. Час життя на цьому рівні досить великий, і інверсія поступово зростає. Слабка зовнішня дія (фотон з частотою $\nu = E_2 - E_1 / h$) викликає велику кількість вимушених випускних переходів $2 \rightarrow 1$. Внаслідок цього, система випускає когерентне випромінювання, підсилюючи вхідний сигнал. Система з інверсною населеністю рівня 2 може і сама, без зовнішньої дії випускати випромінювання. Цілком $2 \rightarrow 1$, який викличе лавиноподібне зростання інтенсивності випромінювання згідно фізичних принципів. Відмінність їх полягає у методах збудження активного качку, у газових – електричний розряд, у напівпровідникових – інжекцію носіїв заряду.

Газові лазери мають ряд переваг порівняно з іншими типами генераторів електромагнітного випромінювання. У них активне середовище знаходиться у стані газорозрядної плазми, тобто пластинки становлять сукупність іонів та електронів. Вони досить слабо взаємодіють між собою, а це означає, що лінії самочинного випускання та поглинання дуже вузькі. Тому ширина лінії генерації газового лазера мінімальна порівняно з іншими генераторами. З другого боку, газ в оптичному відношенні є однорідним середовищем, тобто у формулі (3) мале.

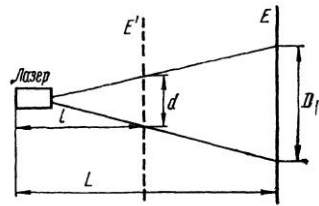
У даній роботі досліджується гелій – неоновий лазер. Розглянемо діаграму нижніх енергетичних станів гелію та неону (**Рис. 2**).

У газорозрядній трубці лазера, заповненій сумішшю гелію та неону, при виникненні електричного розряду відбувається збудження атомів. В основному збуджуються атоми гелію, оскільки їх концентрація в 10 разів більша, ніж концентрація неону. При збудженні за рахунок електронних ударів атоми гелію переходять з основного стану $11S_0$ у перші збудження $23S_0$, і $21S_0$. Енергія перших збуджених станів гелію практично збігається з енергією деяких станів неону ($21S_0 \rightarrow 3S_2$, $23S_0 \rightarrow 2S_2$). Збіг цих рівнів приводить до того, що метастабільні атоми гелію при співударях з не збудженими атомами неону переводять їх на один з рівнів збуджених станів $2S$ і $3S$. Тим самим забезпечується інверсія населеностей рівнів станів $3P$ і $2P$ на рівень $1S$ надзвичайно швидко, тому концентрація атомів на цих рівнях завжди дуже мала. Найчастіше лазерне вимірювання виникає внаслідок переходів (відповідно b , c , a на **Рис. 2**).

Взагалі генерація може спостерігатись одночасно на кількох лініях. Підбором системи дзеркал детонатора, введенням дисперсуючого або вибіркового поглинаючого елемента можна створити оптимальні умови генерації для однієї лінії та заглушити для інших. Таким чином, у гелій – неоновому лазері гелій виконує функцію резервуара збудження, яке резонансно передається атомам неону. Неон є робочою речовиною. У газових лазерах замість неону можна використовувати й інші інертні гази. Схеми їх рівнів подібні до розглянутих вище. Лінії випускання газових лазерів перекривають спектральний діапазон від



РРис. 3



РРис. 4

ультрафіолетової області до інфрачервоної.

Гелій – неоновий лазер складається з оптичного резонатора, активного середовища та захисної оболонки. Оптичний резонатор утворений сферичним 1 (Рис. 3) та плоским 6 дзеркалами, жорстко закріпленими у сталевих фланцях, які скріплені між собою інваровими стержнями 8. За допомогою юстувальних гвинтів 7 положення дзеркал відносно осі резонатора можна змінювати у невеликих межах. Активний елемент 9 (газорозрядна трубка, заповнена сумішшю гелію і неону, завдовжки 25 см з підігрівним катодом 2 і анодом 4) закріплений між напрямними стержнями 8. Торці газорозрядної трубки відшліфовані під кутом Брюстера і закриті вихідними вікнами 5 із оптичного кварцового скла. Оптичний резонатор з активним елементом розташований в захисній оболонці 3, на одному кінці якої закріплено роз'єднувач для кабелів високої напруги та напруги розжарення. Вихід лазерного випромінювання здійснюється з боку напівпрозорого плоского дзеркала 6.

Для живлення розрядної трубки використовується електронний стабілізатор СПБ-5. На його передній панелі розташовані: вимірювальний прилад «Ток нагрязки»; тумблер «Сеть» сигнальна лампочка ручки потенціометра «Регулятор тока нагрязки». На задній стінці блока знаходиться перемикач напруги живлення роз'єднувач лазера, клеми «Земля», шнур живлення. Лазер ЛГ-126 працює на довжині хвилі 632,8 нм і дає випромінювання потужністю не менше 12м Вт. Незважаючи на невелику вихідну потужність, яскравість лазерного проміння на кілька параметрів більша за яскравість звичайної електричної лампи розжарювання. Тому при роботі з лазером слід бути обережним, виконувати правила техніки безпеки. Однією з основних особливостей лазерів є малий кут розходження пучка. Якщо пучок має форму конуса, то тілесний кут можна визначити, вимірявши відповідний плоский кут за формулою:

$$\Omega = 2 \pi (1 - \cos(w/2)). \quad (4)$$

При умові $w < 60$, зв'язок між тілесним і плоским кутами з достатньою точністю виражається формулою:

$$\Omega = (\pi / 4)w^2, \quad (5)$$

де w – плоский кут, радіану кута можна виміряти за схемою Рис. 4 за

якою:

$$w = (D-d) / (L - l). \quad (6)$$

Порядок виконання роботи

1. Підготувати прилад до виконання роботи.
 - Тумблер “Сеть” перевести в нижнє положення.
 - Ручку “Регулятор тока нагрузки” – в крайнє лїве положення.
 - Увімкнути вилку шнура живлення в мережу 220 В.
 - Перевести тумблер “Сеть” в верхнє положення.
 - Прогріти прилад 5-10 хв. Після чого автоматично здійснити запалення газорозрядної трубки.
2. Виміряти кут розходження пучка лазерного випромінювання.
 - Виміряти діаметр плати D та відстань L .
 - Перемістити екран на відстань 1-2 м від лазера і також виміряти діаметр d та відстань l .
 - За формулою (5) та (6) обчислити тілесний кут лазерного пучка.

Контрольні запитання

1. Чим відрізняється спонтанне та індуковане випускання випромінювання?
2. Чому в лазерах не використовується дворівнева схема?
3. При яких умовах відбувається генерація світла в активному середовищі?
4. Які переваги мають газові лазери?
5. У чому полягають переваги лазерного випромінювання порівняно з іншими видами випромінювання?

Лабораторна робота №8

ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.
ВИЗНАЧЕННЯ ПОСТІЙНОЇ СТЕФАНА-БОЛЬЦМАНА, ПОСТІЙНОЇ
ПЛАНКА.

Прилади і матеріали: оптичний пірометр ОППР-017, випрямляч, вольтметр, амперметр, селеновий фотоелемент, червоний та синій світлофільтри, міліамперметр.

Теоретичні відомості.

Електромагнітне випромінювання нагрітих тіл називають тепловим випромінюванням. При деяких умовах вони можуть знаходитись у тепловій рівновазі з оточуючим середовищем. Спектральною характеристикою теплового випромінювання випромінювальна здатність тіла:

$$E_{\lambda T} = dW_{\text{випр}} / dW$$

де dW – енергія електромагнітного випромінювання, яке випромінюється з одиниці поверхні тіла в інтервалі довжин від λ до $\lambda + d\lambda$ за одиницю часу.

Спектральною характеристикою поглинання є поглинальна здатність тіла:

$$A_{\lambda T} = dW_{\text{погл}} / dW_{\text{над}}$$

що показує, яка частина енергії dW електромагнітних хвиль в інтервалі довжин хвиль від λ до $\lambda + d\lambda$, падаючих на одиницю поверхні за одиницю часу, поглинається тілом.

Досліди показали, що випромінювальна та поглинальна здатності тіла залежать від довжини випромінювальних і поглинаючих хвиль, температури тіла, хімічного складу та стану поверхні.

Тіло називається абсолютно чорним, якщо воно при будь-якій температурі повністю поглинає всю енергію падаючих на нього електромагнітних хвиль незалежно від їх частоти. У абсолютно чорного тіла поглинальна здатність дорівнює одиниці, а випромінювальна здатність E залежить тільки від довжини хвилі і абсолютної температури T . Ні одне з реальних тіл не є абсолютно чорним. Але можна зробити пристрої, властивості яких практично не відмінні від властивостей абсолютно чорного тіла. За законами Кірхгофа Відношення випромінювальної здатності тіла до його поглинальної здатності у вузькому інтервалі довжини хвиль $(\lambda, \lambda + d\lambda)$ не залежить від матеріалу тіла і дорівнює випромінювальній здатності абсолютно чорного тіла $\varepsilon_{\lambda T} d\lambda$:

$$(E_{\lambda T} / A_{\lambda T}) d\lambda = \varepsilon_{\lambda T} d\lambda . \quad (1)$$

За законом Стефана-Больцмана інтегральна випромінювальна здатність АЧТ (тобто енергія що випромінюється одиницею поверхні тіла за одиницю часу в усій області частот) пропорційна четвертій степені абсолютної температури тіла:

$$\varepsilon_t = \int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda T} d\lambda = \sigma T^4 \quad (2)$$

де $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²/К⁴ – постійна Стефана-Больцмана.

Для реальних тіл відношення інтегральної випромінювальної здатності АЧТ при тій же температурі менше одиниці. На **Рис. 1** показано як змінюється це відношення в залежності від температури вольфраму з якого зроблена нитка лампи розжарювання. В реальних умовах потужність, що йде на нагрівання нитки розжарення з поверхнею S , майже повністю передається в оточуюче середовище у вигляді теплового випромінювання.

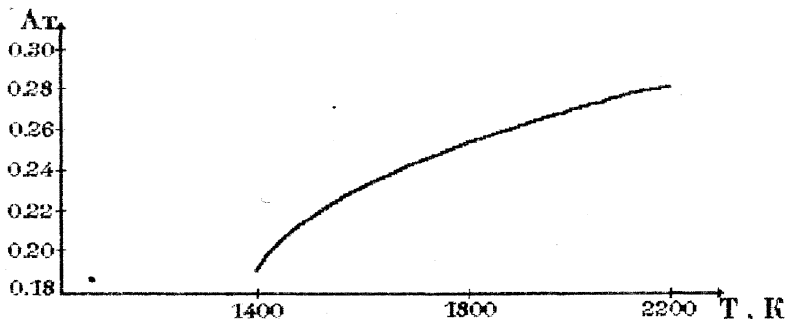


Рис.1

$$IU = A_T \sigma T^4 S. \quad (3)$$

Це рівняння дає можливість експериментального визначення постійної Стефана-Больцмана:

$$\sigma = IU / (A_T T^4 S), \quad (4)$$

де T – кімнатна температура.

Вимірювання σ є одним із завдань даної роботи.

Пошуки явного вигляду функції $\epsilon_{\lambda T}$ привели до встановлення квантового характеру випромінювання і поглинання енергії атомами та молекулами. Функція $\epsilon_{\lambda T}$, яку отримав М. Планк, має вигляд:

$$\epsilon_{\lambda T} = (2\pi h c^2 / \lambda^5) (e^{hc/\lambda k T} - 1), \quad (5)$$

де $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постійна Планка,

c – швидкість світла у вакуумі,

k – постійна Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Спектральну випромінюючу здатність реального металу можна отримати, помноживши $\epsilon_{\lambda T}$ на поглинаючу здатність металу $A_{\lambda T}$:

$$E_{\lambda T} = A_{\lambda T} \epsilon_{\lambda T}.$$

Відношення спектральних випромінювальних здатностей металів для різних довжин хвиль λ_1, λ_2 при одній і тій же температурі рівне:

$$(E_1 / E_2) = (\lambda_2 / \lambda_1) \cdot (A_{1T} / A_{2N}) \cdot (\exp(hc / KT\lambda_2) - 1) / (\exp(hc / KT\lambda_1) - 1) \quad (6)$$

Враховуючи, що для довжин хвиль, що лежать у видимій частині спектру, та температур, що перевищують кімнатну, $\exp(hc/KT)$ значно перевищує одиницю, із рівняння (6) легко отримати відношення спектральних випромінювальних здатностей металу при різних температурах T_1 та T_2 :

$$\frac{(E_1 / E_2)_{T_1}}{(E_1 / E_2)_{T_2}} = \frac{(A_1 / A_2)_{T_1}}{(A_1 / A_2)_{T_2}} \left(\exp \left\{ \frac{hc}{k} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right\} \right) \quad (7)$$

Графіки залежності від температури T для різних довжин хвиль показані на **Рис. 2**. Із малюнка видно, що відношення $(A_1/A_2):(A_1/A_2)$ близьке до одиниці. Тому із (6) та (7) можна знайти постійну Планка:

$$h = \gamma / (1/T_1 - 1/T_2) \cdot \lg \left\{ (E_1 / E_2)_{T_1} / (E_1 / E_2)_{T_2} \right\} \quad (8)$$

$$\gamma = k / \{ c(1/\lambda_2 - 1/\lambda_1) \lg e \} \quad (9)$$

Опис експериментальної установки

В даній роботі для дослідів з тепловим випромінюванням використовується світловимірювальна лампа з вольфрамовою ниткою розжарення CI-6-100. Лампа оточена металічною завісою з віконцем. Напруга на лампу подається з випрямляча. Для виділення теплового випромінювання, що відповідає певному інтервалу довжини хвиль, в роботі використовують синій та червоний фільтри з середніми довжинами хвиль $\lambda_{\text{син}} = 460\text{нм}$, $\lambda_{\text{черн}} = 610\text{нм}$. Про відношення спектральних випромінювальних здатностей вольфраму у виділених

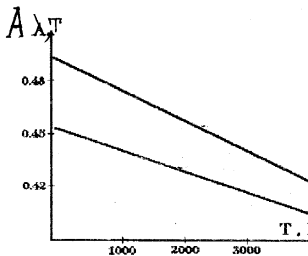


Рис. 2

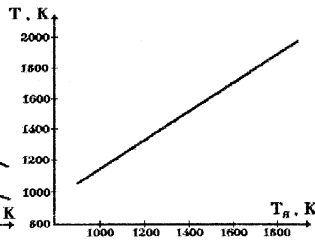


Рис. 3

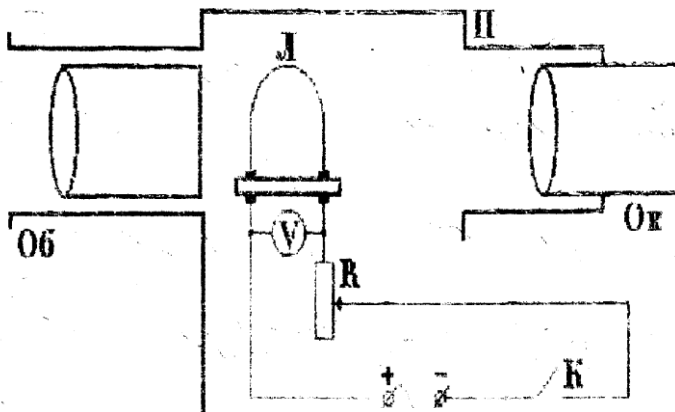


Рис. 4

інтервалах довжин хвиль можна робити висновок з сили струму в колі селенового фотоелемента, поставленого на шляху світлового потоку. Чутливість фотоелементу для синього та червоного світла майже однакова. Тому відношення фотострумів при червоному та синьому світлофільтрах буде залежати від температури так само, як і відношення спектральних випромінювальних здатностей в цих інтервалах довжин хвиль.

В роботі пропонується метод фотометричного порівняння яскравостей досліджуваного тіла та еталонної лампи за допомогою оптичного пірметра. Оптичний пірметр із зникаючою ниткою складається із корпусу П, в якому розміщена еталонна лампа розжарення Л з дугоподібною ниткою (Рис. 4).

Переміщуючи об'єктив пірметра Об, можна отримати зображення нитки еталонної лампи та зображення досліджуваної нитки, що знаходяться в одній площині, переміщують окуляр Ок. Еталонна лампа через ключ К живиться струмом від випрямляча ІЕПП-1. Розжарення нитки регулюється реостатом R за допомогою кільця, що знаходиться в передній частині пірметра.

Температуру нитки, що відповідає температурі АЧТ в монохроматичному світлі з довжиною хвилі $\lambda = 650\text{нм}$, відраховують по вольтметру зі шкалою, проградуєвана в градусах Цельсія.

При вимірюванні температури розжареного тіла регулюють струм еталонної лампи пірметром до тих пір, доки яскравість нитки еталонної лампи не співпадає із яскравістю досліджуваного тіла.

По шкалі пірметра вимірюють так звану яріксіну температуру $T_{я}$. Між яріксіною та дійсною температурою тіла існує залежність:

$$1/T = 1/T_{\text{я}} + (\lambda k / hc) \cdot \ln A_{\lambda T}$$

де $\lambda = 650\text{нм}$. Ця залежність зображена на **Рис. 3** і використовується для визначення температури вольфраму T за дослідними значеннями $T_{\text{я}}$.

Порядок виконання роботи

I. Визначення постійної Стефана-Больцмана.

Встановити віконце з світлофільтром перед селеновим фотоелементом так, щоб нитка лампи, віконце та оптична нитка пірометра знаходились приблизно на одній прямій. Потім поверніть фотоелемент навколо вертикальної осі, прослідкувавши, щоб він закритав вікно лампи. Накрийте лампу з фотоелементом ковпаком.

Користуючись потенціометром випрямляча, повільно збільшуйте напругу на лампі СІ-6-100. Вимір проводьте для 5 різних значень сили струму від 20 до 25 А. Силу струму в склі фотоелементу вимірюйте при червоному ($\lambda_{\text{черв}} = 610\text{нм}$) та при синьому ($\lambda_{\text{с}} = 460\text{нм}$) освітленні.

Після вимірів фотострумів зніміть фотоелемент та виміряйте яркісну температуру вольфрамової нитки. Дійсну температуру знайдіть за графіком (**Рис. 3**). Для кожного значення потужності, що споживається лампою, знайдіть за формулою (4) постійну Стефана-Больцмана. Знайдіть за допомогою мікрометра та лінійки площу вимірювальної поверхні нитки лампи.

Дані вимірів занести до таблиці (I , U , $i_{\text{черв}}$, $i_{\text{син}}$, $T_{\text{я}}$, та σ).

II. Визначення постійної Планка.

За формулою (9) розрахуйте величину γ , що не залежить від температури. Прийміть

$$\lambda_1 = \lambda_{\text{черв}} = 610\text{нм}, \lambda_2 = \lambda_{\text{с}} = 460\text{нм}.$$

Інші значення візьміть з фізичних довідників.

Використовуючи значення, отримані в завданні 1, обчисліть за формулою (8) постійну Планка. Дані обчислень занесіть в таблицю.

Контрольні запитання.

1. Сформулюйте закони теплового випромінювання.
2. Чи застосовний закон зміщення Віна до всіх випромінюючих газів.
3. Які гіпотези поклав Планк в основу виведення формули для

випромінювальної здатності чорного тіла.

4. Яку температуру повинне мати АЧТ, щоб максимум відповідав “червоній” області спектра видимого випромінювання.

5. Накресліть графік, що показує розподіл енергії в спектрі випромінювання АЧТ. Як зміниться цей графік із збільшенням температури?

Лабораторна робота №9

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК ЗА ЇХ СЛІДАМИ В КАМЕРІ ВІЛЬСОНА, СКУРЯТИ ТА ЛЯПІДЕВСЬКОГО

Мета: Засвоїти принцип дії камери Вільсона та метод товстощарових фотопластинок. Визначити за довжиною пробігу зарядженої частинки її енергію.

Прилади і матеріали: Камера Вільсона, камера Скуряті, камера Ляпідевського, освітлювач, міліметрова лінійка.

Правила техніки безпеки

1. В камерах Вільсона, Скурятти та Ляпідевського використовується радіоактивний препарат. Між стінками і кришкою камери повинна зберігатись герметичність. З цих мотивів забороняється розслаблювати

2. Освітлювач для камери і мікроскопа вмикається в мережу змінного струму напругою 220 В – небезпечну для життя. Тому, до вмикання в електричну мережу необхідно перевірити ізоляцію його підвідного шнура та справність колодки з вилкою.

Визначення пробігу і енергії α -частинок за допомогою камери Вільсона, Скурятти та Ляпідевського

Камера Вільсона – прилад, за допомогою якого можна спостерігати і фотографувати треки елементарних частинок. Пролітаючи камерою, заряджена частинка іонізує середовище і залишає після себе слід у вигляді пар позитивних і негативних іонів.

В середовищі перенасиченої пари іони стають центрами конденсації пари і на них утворюються краплини рідини, які використовують видимий слід частинки. При підсвічуванні його можна спостерігати візуально та фотографувати.

Найпростіші камери Вільсона працюють на принципі адіабатичного розширення і охолодження суміші повітря з насиченою парою води, спирту або ефіру. Розширення газу в камері здійснюється завдяки руху поршня, гумової діафрагми чи рухомого дна – **Рис. 1**. При цьому насичена пара перетворюється перенасичену і конденсується на іонах. Спостерігають і фотографують треки частинок через скляну кришку камери.

Для виділення іонів з робочого об'єму між корпусом камери і її кришкою, покритою знизу желатином, прикладають електричну напругу 150-220В.

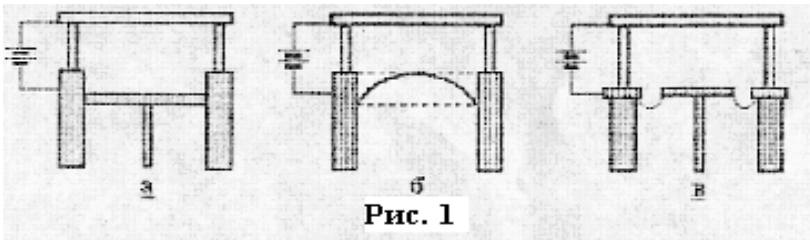


Рис. 1

а) камера з рухомих поршнем б) камера з діафрагмою в) камера з рухомих дном

На треки в камері Вільсона істотний вплив має відношення величини кінцевого об'єму камери до початкового. Так при $1,25 < (V/V_0) < 1,31$ центрами конденсації переважно служать негативні

іони, при $1,31 < (v/v_0) < 1,33$ центрами конденсації стають іони обох знаків, а при $(v/v_0) < 1,38$ пара конденсується також на газових молекулах, у камері утворюється суцільний туман.

Чіткість треків у камері Вільсона залежить також від іонізуючої здатності частинок. Наприклад добрі сліди залишають α -частинки. Це зумовлюється їх значним зарядом і порівняно малою швидкістю. α -частинка з енергією 3MeV (швидкість руху 12000 км/с) в повітрі при тиску 760 мм.рт.ст. і температурі 15⁰ С пролітає шлях 3,7 см і утворює на кожному треку близько 20000 пар іонів, тоді як β -частинка такої ж енергії пролітає шлях 13м і утворює лише 10000 пар іонів на кожному треку. Завдяки цьому сліди β - частинок порівняно тонкі, сліди протонів товстіші, а сліди α - частинок – жирні. Довжина пробігу кожної частинки залежить від її енергії. Цю залежність здебільшого задають у вигляді експериментально набутих графіків.

Можливості камери Вільсона були істотно розширені вченим Д. В. Скобельциним, який випробував камеру в сильному магнітному полі паралельному осі та вченим Андерсоном, який розробив до камери автоматичний пристрій для її запуску і фотографування в той момент, коли частинка попала в камеру.

В магнітному полі завдяки малій масі β -частинок, їх сліди більш викривлені, ніж сліди α -частинок; вони відхиляються в протилежні сторони, бо їх заряди різного знаку. Довжина сліду частинок того ж типу може служити мірою їх енергії.

В магнітному полі на рухому заряджену частинку діє сила Лоренца. У випадку коли їх рух відбувається в напрямі, перпендикулярному до їх поля, сила Лоренца відіграє роль доцентрової сили:

$$qvB = mv^2/r. \quad (1)$$

Маючи фотознімки для даних частинок при різних значеннях індукції поля B і вимірюючи радіус кривизни R , можна з рівняння (1) визначити характеристики частинок q, m, v .

За допомогою камери Вільсона були відкриті елементарні частинки позитрон та мезон, зафіксовані ядерні реакції, явище перетворення фотонів в пару електрон-позитрон, тощо.

Бульбашкова камера. Недоліком камери Вільсона є мала густина і мала гальмуюча здатність її середовища, завдяки чому швидка частинка пролітає камеру без помітних змін. Цей недолік усувається в бульбашковій камері, винайденій у 1952р. Д. Глазером. Вона являє собою прозору циліндричну посудину наповнену ефіром, фреоном або пропаном при температурі кипіння. Підвищений тиск в камері до $3 \cdot 10^5 - 22 \cdot 10^5$ Па (залежно від рідини) затримує кипіння. Заряджена частинка, пролітаючи через камеру, залишає після себе іонний слід.

Після раптового зниження тиску до нормального рідина в камері стає киплячою і передусім на іонах, як центрах кипіння утворюються пухирці пари. Останні вирисовують слід частинки, який при підсвічуванні можна спостерігати візуально та фотографувати.

Для виконання лабораторної роботи використовується камера Вільсона, модифікована для навчальних цілей Г.Івановим. Камера приводиться в дію за допомогою гумової груші, в яку спочатку вливають кілька крапель етилового спирту. Приєднавши грушу до гумового шлангу камери, її повільно і раптово відпускають. У цей момент від препарату у центрі камери розходяться молочні сліди α -частинок.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з будовою камери Вільсона.
2. Засвоїти техніку створення треків α -частинок у камері.
3. Провести вимірювання пробігу α -частинок за візуальними спостереженнями їх треків у камері Вільсона. Для цього кожного разу при розширенні камери потрібно зафіксувати кінці треків за допомогою пересувних фішок на кришці камери (в різних напрямках – всього 4-5 разів). Виміряти віддалі фішок від препарату і знайти їх середнє значення. За графіком “пробіг-енергія” знайти орієнтовану величину енергії α -частинок.
4. За допомогою довжини вільного пробігу α -частинок обчислити її початкову швидкість і її енергію.

Лабораторна робота №10

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК ЗА ЇХ СЛІДАМИ НА ФОТОПЛАСТИНКАХ

Прилади і матеріали: Діапроектор, мікроскоп МБИ-1, препаративний СТ-12, фотопластинки або фотоплівки зі слідами заряджених частинок, лінійка, циркуль, прозорий папір.

Правила техніки безпеки

1. В роботі з фотопластинкою використовується короткофокусний об'єктив і імерсійна рідина. Тому потрібно постійно уважно дивитися, щоб об'єктив не впирався у пластинку і не піддавався механічному напруженню.
2. Освітлювач для діапроектора і мікроскопа вмикається в мережу змінного струму напругою 220 В – небезпечну для життя. Тому, до вмикання в електричну мережу, необхідно перевірити ізоляцію його підвідного шнура та справність колодки з вилкою.

Визначення енергії та швидкості частинок за допомогою фотопластинок.

Цей метод розробили фізики Л. П. Мисовський та А. Н. Жданов в 1927р., але особливого поширення він набув у 1945 р., коли було розроблено технологію виготовлення відповідних пластинок. Вони відрізняються від звичайних фотопластинок як значною товщиною емульсії (від 50 до 2000 мкм), так і більшим вмістом бромистого срібла (від 83% до 87% за вагою), рівномірно розподіленого по товщині емульсії у вигляді досить малих кристалів (діаметром 0.3 мкм) диспергованих в желатині. Товстошарові пластинки дають змогу реєструвати заряджені частинки, що проходять крізь шар емульсії. При цьому в кристалах бромистого срібла емульсії під дією заряджених частинок відбуваються фотохімічні зміни, суть яких зводиться до утворення груп іонів металічного срібла – так званих центрів прихованого зображення. В процесі проявлення з них утворюються зерна металічного срібла видимих розмірів (0.1-0.8 мкм), приховане зображення перетворює в видиме зображення сліду частинки – треку. Точніше, при проявленні металічне срібло накопичується на поверхні кристалів бромистого срібла, в процесі фіксування емульсії не проявлені зерна бромистого срібла розчиняються і вимиваються з желатину.

Треки вивчаються за допомогою мікроскопа великого збільшення. Аналіз треків дає змогу з великим ступенем точності визначити заряд і масу частинки, напрям і величину швидкості її руху, а також енергію і час її життя. Зокрема чим більша енергія частинки, тим більшою буде довжина її пробігу в емульсії, тим товстіший слід.

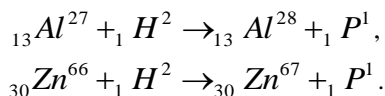


Здатність товстошарових фотопластинок до неперервної реєстрації

частинок, значно коротші пробіги частинок в емульсії в порівнянні з газом, малі розміри пластинок як приладу і простота методу – такі істотні переваги цього методу над іншими методами ядерної фізики, зокрема камерою Вільсона.

За допомогою пластинок зроблено відкриття π та μ -мезонів та ін. До недоліків методу товстошарових пластинок можна віднести складність виготовлення однорідної емульсії і аналізу треків.

Для ознайомлення з методом товстошарових пластинок зручними є ті пластинки, що були опромінені відомими частинками з невеликими енергіями, порядку 1-15 MeB. В нашій роботі представлені такі, якими користувались в дослідженнях інституту фізики АН України для вивчення енергетичних рівнів ядер атомів алюмінію, цинку і ін. Перед цим металеву мішень опромінювали прискореними на циклотроні дейтронами (ядрами ізотопу водню – дейтерію). В наслідок опромінювання відбулась ядерна реакція типу $(d - p)$, так звана реакція зриву нейтрона:



Ця реакція пояснюється так: при наближенні до ядра атома мішені дейтрон ${}_1\text{H}^2$ під дією електростатичного поля ядра орієнтується так, що нейтрон стає ближче до ядра атома, а протон – далі. Під дією ядерних сил нейтрон захоплюється ядром мішені, а протон відштовхується електростатичними силами і утворює трек у товстошаровій пластинці.

Після проявлення пластинки і розгляду її в мікроскоп там можна побачити треки протонів. Вони спостерігаються під різними напрямками і мають різну довжину, відповідно до рівнів енергії ядер мішені.

Значний інтерес становлять рідкісні випадки ядерних реакцій “зірок”, що спричиняються взаємодією космічних променів із ядрами емульсії.

Установка для виконання лабораторної роботи складається з мікроскопу МБИ-1 (іноді використовується з бінокулярною насадкою АУ-12). Загальне збільшення мікроскопа може бути на менше 700 раз. В окуляр вставляють окулярну сітку для зручності відліку і виміру довжини треків.

На предметному столику мікроскопа встановлюють препаратодій СТ-12 за допомогою якого можна переміщати пластинку у двох взаємо перпендикулярних напрямках з точністю до 0.1мм. при роботі з мікроскопом можна використати природне освітлення, але кращим є електричний освітлювач з зеленим світлофільтром.

Техніка спостережень така: пластинку вставляють в препаратодій емульсійною стороною до об'єктива. На середину пластинки наносять

невелику краплинку імерсійної рідини. На цю краплинку обережно опускають об'єктив, весь час спостерігаючи за моментом дотику об'єктива до поверхні рідини. Після цього зворотно-поступальним рухом тубуса фокусують треки. Якщо пластинка опромінювалася на прискорювачах, то для неї характерне паралельне розміщення треків. При цьому доцільно зорієнтувати їх відповідно до координатної сітки.

Примітка: можливо використання об'єктива без імерсійного масла.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити прилади і ознайомитись з їх дією. Змонтувати установку, підібрати відповідні окуляри та об'єктиви, освітлення, встановити пластинку препаратіводія. Попрактикуватися 5-10 хв. у розгляданні треків, як вздовж пластинки, так і в глибину.

2. Користуючись ноніусом препаратіводія визначити ціну поділки окулярної сітки. Для цього потрібно на одній стороні сітки визначити за ноніусом продовження якоїсь плями або віконця трека. Протягуючи крізь сітку цю пляму, встановити її на протилежній стороні сітки. Знову зробити відлік по ноніусу. Знаючи кількість клітинок сітки та їх загальну довжину визначити ціну однієї поділки в мкм.

3. Починають розглядати пластинку та вимірювати треки з лівого верхнього кутка пластинки в напрямі до правого верхнього кутка пластинки, потім трохи вниз і по горизонталі наліво, і так, поки не розглянемо всю пластинку. Виміри зробити в поділках (клітинках) шкали. Результати вимірів записати в таблицю.

4. За допомогою діапроектора замалювати треки заряджених частинок. Визначити енергію, швидкість тощо (завдання до даної роботи будуть даватися індивідуально).

5. Результати вимірів записати в таблицю

п/п	Довжина треку в поділках	Довжина треку в мкм	Енергія протона

Контрольні запитання

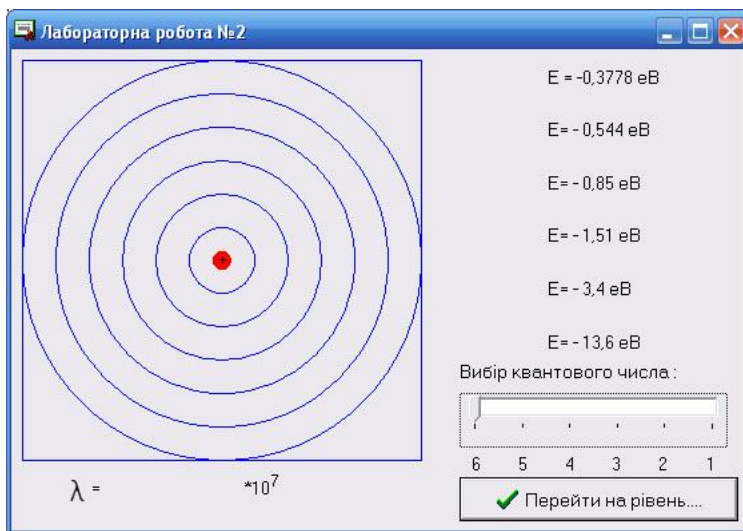
1. В чому полягає метод товстошарових пластинок?
2. Від чого залежать товщини треку зарядженої частинки?
3. Від чого залежить довжина треку частинки?
4. Чим викликається зміна напряму треку частинки?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №11

Вивчення спектра атома водню і визначення сталої Рідберга

Мета роботи. Вивчити постулати Бора та спектр атома водню, визначити сталу Рідберга.

1. Методика виконання роботи



Лабораторна робота виконується за допомогою моделювання фізичних процесів комп'ютером при використанні програми. Видяк вікна цієї програми наведено на рис. Програма дає змогу задавати значення головного квантового числа n натисканням кнопки у правій нижній частині вікна. При цьому якщо електрон перебуває у стаціонарному стані з іншим значенням n , то програма моделює перехід електрона у стаціонарний стан із заданим значенням головного квантового числа. Одночасно вона визначає довжину хвилі фотона (унизу вікна програми) та показує вертикальною стрілкою зміну енергії електрона (у правому верхньому куті вікна програми).

Натискання кнопки «Перейти на рівень» переводить електрон на орбіту зі заданим квантовим числом.

У цій роботі експериментально визначаються довжини хвиль спектральних ліній λ атома водню (які вказує програма внизу вікна програми, при різних переходах).

Після визначення довжин хвиль , $\frac{1}{\lambda_{nk}} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$ за формулою

(1) відшукується стала Рідберга R .

2. Завдання до роботи

Вивчити постулати Бора. Дістати вирази для радіуса стаціонарної орбіти, енергії стаціонарного стану, формулу Бальмера — Рітца.

3. Порядок виконання роботи

Дослідження спектру атома водню.

1. Задати $n = 1$.
2. Провести вимірювання значень λ_{1k} при $k = 2, 3, 4, 5, 6$.
3. Задати $n = 2$.
4. Провести вимірювання значень λ_{2k} при $k = 3, 4, 5, 6$.
5. Задати $n = 3$.
6. Провести вимірювання значень λ_{3k} при $k = 4, 5, 6$.
7. Занести здобуті значення λ_{nk} у табл. 1.

Таблиця 1

k	2	3	4	5	6
λ_{1k} , нм					
λ_{2k} , нм					
λ_{3k} , нм					

4. Обробка результатів

1. Визначення сталої

Рідберга.

1.1 Для кожного значення λ_{nk} із табл. 1 за формулою (1) знайти сталу Рідберга R .

1.2 Здобуті значення сталої Рідберга занести в табл. 2.

Таблиця 2

	k	2	3	4	5	6
$R, \text{м}^{-1}$	n=1					
	n=2					
	n=3					

1.3 Використовуючи дані табл. 2, обчислити середнє арифметичне здобутих значень сталої Рідберга.

5. Висновки з роботи

Контрольні питання:

1. Як утворюється лінійчастий спектр?
2. Сформулюйте постулати Бора.
3. Користуючись теорією Бора, дістаньте вирази для радіуса стаціонарної орбіти електрона, енергії стаціонарного стану електрона, формулу Бальмера—Рітца.
4. Назвіть спектральні серії в лінійчастому спектрі атома водню і поясніть, як вони утворюються.
5. Що таке головне квантове число?
6. Що таке стала Рідберга?
7. Що таке енергія іонізації атома?
8. Що таке основний енергетичний стан електрона атома?

Лабораторна робота №12

ВИВЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ НА ПРИКЛАДІ ФЛУКТАЦІЙ ІНТЕНСИВНОСТІ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета роботи: Вивчення статистичних закономірностей, яким підпорядковується радіоактивний розпад ядер.

Прилади і матеріали: портативний нуклеарний аналізатор № С-482, радіоактивні препарати гама-випромінювання, свинцевий контейнер для радіоактивного препарату.

Правила техніки безпеки

1. Прилад через блок В-483 живиться від електромережі з напругою 220 В, небезпечною для життя. Тому перед включенням приладу слід перевірити ізоляцію підвідних провідників та справність контактної розетки.

2. У приладі на клеммах гнізда до якого під'єднується детектор, напруга підвищується до 1400 В, тому перед включенням приладу в мережу потрібно спочатку під'єднати детектор, інакше включення приладу забороняється.

3. Не можна замінити сцинтилятору під напругою, інакше на катод фото помножувача попаде світло і він вийде з ладу.

Теоретичні відомості

Фізичні закономірності можна розділити на два типи: динамічні і статистичні. Динамічні закономірності свій класичний вигляд отримали в ньютонівській механіці і в класичній електромагнітній теорії Максвелла. Ці закономірності дають однозначний зв'язок між явищами, даючи можливість за початковими умовами, що характеризують систему в деякий момент часу, абсолютно точно передбачити її стан для довільного наступного моменту часу (це є суть принципу причинності в

класичній фізиці).

Статистичні закономірності, на відміну від динамічних, виражають такий зв'язок між явищами, який не носить однозначного характеру. Наступні стани в такому випадку визначаються попередніми станами тільки з деякою долею імовірності. Закономірності такого типу діють в складних системах, що складаються з великого числа елементів і характер явищ в яких визначається внутрішніми зв'язками і зовнішніми умовами. Статистична закономірність являється результатом повторюваності великої кількості масових однотипних явищ, кожне з яких носить випадковий характер. Ця закономірність проявляється в тому випадку, якщо випадкові явища, що утворюють дану сукупність, протікають незалежно одно від другого. Об'єктивною основою існування імовірно-статистичних закономірностей являється структурна невичерпність матерії, діалектичний характер її розвитку. Статистичні закономірності мають місце при радіоактивному розпаді важких елементів, коли розпад кожного атомного ядра – явище випадкове і незалежне від зовнішніх умов, яке відбувається самовільно (спонтанно).

Радіоактивний розпад супроводжується радіоактивними випромінюваннями, які можна зареєструвати різними способами і таким чином, зробити висновок про те, що відбувається розпад ядер.

Імовірність розпаду P атомного ядра за проміжок часу Δt не залежить від умов, в яких атом знаходився раніше або перебуває в даний момент.

Ця імовірність для даного елемента залежить тільки від величини інтервалу часу. При малих значеннях цього інтервалу імовірність розпадів пропорційна йому, а саме:

$$P = \lambda \cdot \Delta t ,$$

де λ – константа, характерна для даного виду радіоактивних ядер і називається **СТАЛОЮ РОЗПАДУ**. Основні закономірності радіоактивного розпаду можна отримати, використавши ряд теорем теорії імовірності, які звичайно приведені в спеціальній літературі.

Для того, щоб визначити імовірність $P = \lambda \cdot \Delta t$ розпаду ядра за час Δt , необхідно провести серію дослідів по вимірюванню числа ядер n_1 n_2 n_3 , що розпалися за різні проміжки часу в препараті, який містить велике число N ($N \gg n$) радіоактивних ядер. Тоді середнє значення числа ядер, що розпалися за час Δt , віднесене до всього числа радіоактивних ядер N , дає імовірність розпаду одного ядра за час Δt . Імовірність P може мати значення, що лежить між нулем (неможлива подія) і одиницею (достатня подія).

Дві події, з яких одна і тільки одна обов'язково відбувається в якому-небудь досліді називаються протилежними подіями. Так розпад і нерозпад ядра за час Δt являються протилежними подіями.

Сума імовірностей таких подій дорівнює одиниці. Таку імовірність протилежної події, а саме того, що ядро не розпадеться за час Δt ,

дорівнює:

$$P_1 = 1 - P = 1 - \lambda \cdot \Delta t.$$

Якщо ядро не розпалося за час Δt , то імовірність того, що воно не розпадеться на протязі другого такого ж проміжку часу, знову дорівнює:

$$P_2 = 1 - P = 1 - \lambda \cdot \Delta t.$$

Імовірність того, що ядро не розпадеться в першій і другий проміжки часу згідно правила множення імовірностей, дорівнює:

$$P_{2\Delta t} = (1 - \lambda \cdot \Delta t)^2.$$

Імовірність того, що ядро не розпадеться на протязі відрізків часу Δt , дорівнює:

$$P_{m\Delta t} = (1 - \lambda \cdot \Delta t)^m.$$

Якщо сума всіх інтервалів дорівнює t , то $\frac{t}{m}$ і ймовірність $P_{m\Delta t}$ може бути виражена співвідношенням:

$$P_{m\Delta t} = \left(1 - \lambda \cdot \frac{t}{m}\right)^m = e^{-\lambda t},$$

яке буде тим точніше, чим більше число спостережень виконано за час. В границі, при:

$$P_1 = \lim_{m \rightarrow \infty} \left(1 - \lambda \cdot \frac{t}{m}\right)^m = e^{-\lambda t},$$

(друга чудова границя математики), де P_1 – імовірність того, що ядро не розпадеться за скінченням проміжок часу t . Якщо препарат в початковий момент часу містив N_0 радіоактивних ядер, то число ядер, що не розпалися за час t визначається за формулою:

$$N = N_0 P_t = N_0 e^{-\lambda t},$$

яка визначає основний закон радіоактивного розпаду. Цей закон буде виконуватись лише в тому випадку, коли N – дуже велике число $N \gg 1$. При не дуже великих N , як і у всіх статистичних явищах, повинні спостерігатись відхилення від середнього значення (флуктуації). Ці перетворення супроводжуються виділенням настільки великої енергії, що є можливість реєструвати всі акти перетворення окремих ядер.

Примітка:

При будь-якому фізичному вимірюванні, результат, отриманий під час проведення досліду дещо відрізняється від дійсного (істинного) значення величини, що вимірюється. Похибка вимірювань є сумою похибок, що зв'язані з недосконалістю методики вимірювань і неточністю калібровки приладів (ці похибки прийнято називати систематичними), та із випадкових похибок експерименту, що змінюють

свою величину та знак в кожному досліді. Частинним випадком випадкових похибок (помилوک) є так звані статистичні похибки. Ці похибки викликані флуктуаціями самої величини, що вимірюється. До числа величин, що флуктують, відносяться і інтенсивність радіоактивного випромінювання. Нехай, при деякому вимірі за 10 с зареєстровано n частинок. Це зовсім не означає, що в довільні наступні 10 с буде зареєстровано саме n частинок. В силу випадкових причин при цьому можна отримати $n-1$, $n+2$, або довільно інше число, яке, взагалі кажучи, буде не сильно відрізнятися від n .

В цьому випадку, як і завжди при вимірюванні величин, що флуктують, фізичний зміст має не стільки результат окремого виміру, скільки середній результат досліді, в нашому прикладі – середнє число частинок, що проходять через установку за 10 с (або за 1 с).

Під інтенсивністю випромінювання розуміють число частинок, що проходять через одиничну площадку за одиницю часу.

В даній роботі використаний простий спосіб вивчення флуктуацій, вперше запропонований і використаний Резерфордом і Гейгером. Ними підраховувалось число частинок, які випромінювались слабким радіоактивним препаратом за однакові невеликі проміжки часу. Потім результати досліді визначались як загальне число інтервалів (проміжків) часу, в яких спостерігалось однакове число альфа-частинок і будувався графік залежності числа інтервалів від числа альфа-частинок на інтервалі. Одержана в результаті досліді залежність інтервалу часу від числа альфа-частинок на інтервал порівнювалась з аналогічною теоретичною залежністю, яка визначалась формулою Пуасона.

В даному випадку при дуже великому числі спостережень, імовірність того, що протягом одного інтервалу появиться n альфа-частинок відповідно за формулою Пуасона рівна:

$$P(n) = \frac{x^n}{n!} t^{-x},$$

де X – середнє число частинок, які входять в інтервал:

$$x = \frac{\sum k_i}{k}$$

k_i – число імпульсів за i -ий інтервал (i змінюється від 1 до k)

k – число інтервалів

n – число імпульсів, імовірність появи яких обчислюється.

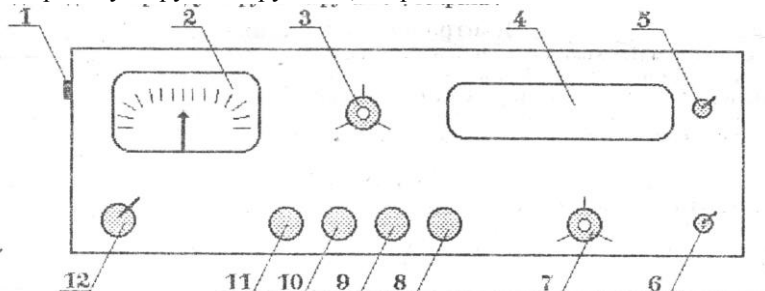
Дослід Резерфорда і Гейгера показав добру відповідність між теорією і дослідними даними.

Опис приладу

В нашому випадку підраховується не кількість альфа-частинок, а кількість радіоактивних розпадів з випромінюванням гама-промінів. В роботі використовується портативний нуклеарний аналізатор №с-482В,

який дає змогу зареєструвати і вести лічбу імпульсів, які надходять з датчика радіоактивного гама-випромінювання з частотою до 105 імп/с. Для ведення контрольного рахунку у приладі використовується декатронний блок та електронний секундомір.

Тут забезпечується автоматична зупинка лічильника після закінчення заданого інтервалу часу. Середня швидкість лічби імпульсів контролюється за допомогою електровимірювального приладу, шкалу якого про градуйовано в імпульсах за хвилину. На рисунку вказані деякі деталі приладу та ручки керування, зокрема:



1. високовольтне гніздо від'єднання детектора;
2. стрілочний прилад для показу швидкості лічби і напруги джерела;
3. перемикач діапазону швидкості лічби;
4. дисплей для показу рахунку імпульсів;
5. кнопка вмикання цифрового індикатора;
6. перемикач "старт" (стоп);
7. перемикач часу вимірювання;
8. регулятор високої напруги;
9. регулятор основного рівня аналізатора "Е";
10. перемикач інтегрально-диференціального вимірювання;
11. регулятор ширини вікна аналізатора "2Е";
12. кнопки вмикання джерела живлення.

При вимірюванні випромінювання ручку перемикача 6 короткочасно переводять в положення "старт", а потім відпускають. При цьому прилад анулює попередній результат і починає новий рахунок. Після закінчення вимірювання результат появляється на 3-ї секунди. Під час вимірювання на дисплеї видно світлу точку, при закінченні рахунку точка гасне, за допомогою перемикача 5 на дисплеї можна відтворити результат вимірювання (ручку від себе), час вимірювання (ручку до себе).

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з принципом роботи установки та заводської інструкцією до неї, засвоїти засоби керування приладом.
2. Увімкнути прилад у мережу та після прогрівання його (3-5 хв)

почати вимірювання.

3. Одержати у лаборанта радіоактивний препарат та помістити його в контейнер проти віконця датчика.

4. Лічбу імпульсів проводити за інтервалом часу 6 секунд.

5. На листку мм паперу намалювати координатні осі. По осі абсцис відкласти числа імпульсів, які надходять з датчика радіоактивного гама-проміння на інтервал 0, 1, 2, 3, ..., по осі ординат відкласти інтервали 0, 1, 2, 3, ... 50. Після кожного вимірювання на ординаті, що виходить з тої точки осі абсцис, яка відповідає кількості зареєстрованих імпульсів від гама-датчика, на висоті одного інтервалу поставити хрестик чи крапку, при слідуєчих вимірюваннях, якщо повториться така сама кількість імпульсів, крапка ставиться на кліточку вище.

6. Провести 250-300 вимірів кількості імпульсів за однакові інтервали часу (6 с). Через кожні 15 с ручку перемикача б короткочасно перевести в положення "старт", а потім відпустити.

7. Після закінчення вимірів через крайні крапки на графіку провести плавну криву. Ця крива являє собою залежність кількості інтервалів від числа імпульсів на інтервал.

8. Порівняти експериментальні дані з теоретичними, які підраховуються по формулі Пуасона. Число інтервалів, в яких імовірна поява 0, 1, 2, 3, ... імпульсів, розрахувати по формулі:

$$N_n = N P(n) = (N) (\alpha^n/n!) e^{-\alpha},$$

де N_n – число інтервалів, що відповідає даному числу імпульсів n , взятих із графіка, α - деяка стала, що має зміст середньої величини фіксованих n .

Контрольні запитання

1. Який фізичний зміст закону радіоактивного розпаду?
2. Що називається періодом напіврозпаду?
3. У чому різниця між статичними та динамічними закономірностями?
4. Який фізичний зміст формули Пуасона застосовано до закону радіоактивного розпаду?
5. Окресліть принцип дії сцинтиляційного лічильника.
6. Що називають абсолютною флуктуацією випадкової величини?
7. При якій умові розподіл Пуасона переходить у розподіл Гауса?

Лабораторна робота № 13

ВИВЧЕННЯ ДОСЛІДІВ ФРАНКА І ГЕРЦА

Прилади і матеріали: тиратрон ТГ1 – 2.5/4, осцилограф, випрямляч, генератор ГНЧШ, провідники.

Теоретичні відомості

Досліди Франка і Герца були яскравим експериментальним підтвердженням постулатів Н. Бора про існування стаціонарних енергетичних станів атомів та випускання або поглинання атомів кванта випромінювання при переході з одного стаціонарного стану в інший. Якщо атоми будь-якої речовини, які перебувають в газоподібному стані, опромінювати потоком електронів, між ними відбувається взаємодія, внаслідок чого енергетичні стани атомів можуть змінюватися. Ця взаємодія може носити характер пружного або не пружного ударів. Для встановлення характеру співударів потрібно дослідити розподіл швидкостей електронів після співударів з атомами, оскільки початковий розподіл відомий. Франк і Герц показали, що коли енергія електронів менша за деяку критичну, то співудари між електронами і атомами відбуваються пружно. При такому співударі значення швидкості електрона практично не змінюється, може змінитись лише її напрям. Тобто атом при цьому енергії не дістає, а електрон рухається з початковою кінетичною енергією. При не пружних співударах внаслідок того, що маса електрона значно менша маси атома, він передає атому майже всю свою енергію. Атом переходить у вищий енергетичний стан,

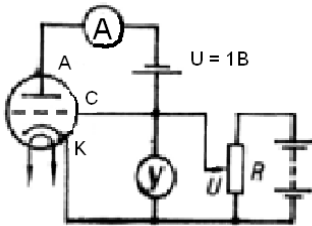


Рис. 1

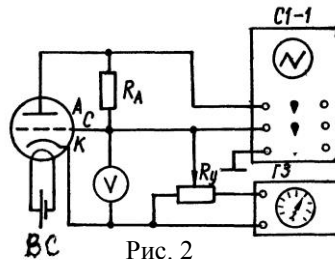


Рис. 2

а електрон зменшує свою швидкість. Виявилось, що не пружні зіткнення електронів з атомами відбуваються при строго визначеному ряді значень кінетичної енергії електронів. Розподіл швидкостей електронів після співударів з атомами досліджували за допомогою методу затримуючого потенціалу. Найпростішу схему для проведення досліду Франка і Герца подано на **Рис. 1**. Нехай між катодом і анодом прикладемо прискорюючу напругу U . Прискорені електрони прямують до анода A , розташованого за сіткою C . Якщо на сітку подати потенціал $+U_1$, то у просторі між сіткою і анодом виникне гальмуюче електричне поле.

Тому лише ті електрони, які мають кінетичну енергію $\frac{m\mathcal{G}^2}{2} > eU_1$,

можуть досягти анода A .

Змінюючи затримуючий потенціал U_1 і водночас вимірюючи значення струму в анодному колі, можна побудувати ВАХ, що дасть змогу обчислити розподіл швидкостей між електронами. Якщо енергія електронів менша за критичну, взаємодія їх з атомами газу має пружний характер, а енергія рівна eU . Вони досить легко долають гальмуюче поле і досягають анода. Із збільшенням U , анодний струм поступово зростає. При критичному значенні напруги U і енергії електрона з великою імовірністю відбувається не пружна взаємодія. Віддавши всю енергію атомові, електрон не може подолати гальмуючого поля, не досягає анода, тобто не вносить вкладу в значення анодного струму. При збільшенні потенціалу анода U можна спостерігати не лише перше не пружне збудження атомів, а й друге і третє. Це проявляється на ВАХ у вигляді максимумів і мінімумів анодного струму.

Поряд з такою особливістю в поведінці анодного струму досить важливим є те, що у досліді спостерігається світіння газу. Причому інтенсивність випромінювання з певною довжиною хвилі відповідає мінімуму анодного струму. Таку залежність можна пояснити тим, що після інтенсивного збудження атоми газу через час порядку 10 с переходять у нормальний стан, а надлишок енергії випускають у вигляді випромінювання певної довжини хвилі.

У даній роботі використовується тиратрон ТГ1-2,5/4, заповнений аргонном. Схема установки зображена на **Рис. 2**.

Прискорююча напруга U між катодом і сіткою подається з генератора і може регулюватись за допомогою потенціометра R . Електронний осцилограф призначений для спостереження за ВАХ тиратрона. Гальмуюче поле створюється напругою, яка знімається з анодного опору R_a . На вертикально відхиляючі пластини осцилографа подається спад напруги на опорі R_a , пропорційний значенню анодного струму. На горизонтально відхиляючі пластини подається напруга горизонтальної розгортки. Залежно від амплітуди напруги між катодом і сіткою на ВАХ спостерігається відповідна кількість максимумів та мінімумів.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати установку за схемою на **Рис. 2**.
2. Увімкнути випрямляч. Виставити напругу $U_k = 4$ В. Увімкнути генератор ГНЧШ.
3. Увімкнути осцилограф. Відрегулювати його.
4. Повільно збільшуючи прискорюючи напругу, зафіксувати покази вольтметра, що відповідають першому, другому та третьому мінімумам анодного струму.
5. На основі одержаних даних визначити різницю значень енергії атома на основному та першому збудженому енергетичних рівнях.

За одержаними значеннями енергії ΔE , обчислити довжину хвилі резонансного випромінювання аргону та порівняти ці значення з таблицями.

Контрольні запитання

1. Сформулюйте постулати Бора.
2. Як залежить форма ВАХ від тиску газу в балоні лампи?
3. Чому мінімальне значення анодного струму не дорівнює нулю?
4. Як пояснюється світіння газів і електричному розряді?

Лабораторна робота №14

ВИЗНАЧЕННЯ АКТИВНОСТІ БЕТА-ПРЕПАРАТУ, МЕРТВОГО ЧАСУ І ЕФЕКТИВНОСТІ ЛІЧИЛЬНИКА.

Мета роботи: Засвоїти метод вимірювання активності бета-препарату за допомогою лічильника Гейзера-Мюллера, навчитись визначати мертвий час і ефективність лічильника.

Прилади і матеріали: газовий лічильник, перерахунковий прилад ПП-16, свинцевий будинок, три радіоактивних препарати, секундомір, пінцет.

Правила техніки безпеки.

1. Установка вмикається в мережу змінного електричного струму з напругою 220 В, небезпечною для життя людини.

2. Вмикати прилад під дію електричної напруги лише з дозволу керівника занять або лаборанта.

3. Заміна газових приладів при ввімкненому в мережу приладі забороняється, так як на лічильник подається напруга 300 В.

4. При роботі з приладом НЕОБХІДНО бути обережним, не можна доторкатись до струмонесучих частин.

5. Джерело радіоактивних випромінювань потрібно зберігати в свинцевому контейнері.

6. Перед початком роботи з радіоактивним препаратом необхідно проробити всю підготовчу роботу, щоб звести до мінімуму час маніпуляції з препаратом.

7. По закінченню вимірів радіоактивні препарати негайно помістити в свинцевий контейнер.

Теоретичні відомості.

Основною характеристикою радіоактивного препарату є його активність. Активністю препарату називають кількість розпадів в ньому ядер за одиницю часу. Одиницею активності є Беккерель.

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ розп/с}$$

В літературі ще часто зустрічається одиниця активності Кюрі.

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ розп/с}$$

Таку активність має 1 г радію 226.

В даній роботі активність препарату визначається методом лічби випромінюваним ним бета-частинок. Цей метод вважається не дуже точним. Визначення активності препарату є складним експериментальним завданням. Складність полягає у врахуванні різних впливів й внесенні поправок до показів приладу. Формула обчислення активності бета-препарату має такий вигляд:

$$C = \frac{n_{np} P - n_{\phi}}{\rho q f \omega k \varepsilon},$$

де C – активність препарату, n_{np} – кількість імпульсів за 1 хв., які фіксує прилад під дією препарату, n_{ϕ} – фон, тобто кількість імпульсів за 1 хв., які рахує прилад без препарату, ρ – величина, що залежить від особливостей препарату і вказує кількість бета-частинок, що виникають в одному акті розпаду, k – поправка на самопоглинання бета-проміння

в препараті, ω – поправка на тілесний кут, вона показує ту частину від усього випромінювання, яка попадає в лічильник, q – поправка на зворотне розсіяння бета-проміння, тобто їх відбивання від підкладки препарату, f – поправка на поглинання бета-випромінювання в повітрі і у вікні лічильника, ε – поправка, що відображає ефективність лічильника, рівна відношенню числа розрядів до числа бета-частинок, які попадають в лічильник, P – поправка на так званій “мертвий час” лічильника, введена для врахування того часу, протягом якого лічильник після розпаду повертається в стан готовності для реєстрування наступної частинки.

Поправки знаходять за допомогою відповідних графіків (див. далі). В окремих випадках визначення активності значно спрощується, бо поправки ρ, ε, P відомі як характеристики препарату та випромінювальної апаратури. Тому залишається експериментально визначити швидкість лічби для препарату і фону та поправки k, ω, q, f .

I. Поправка на самопослаблення в препараті (k)

Самопослаблення в товстому препараті зумовлено поглинанням і розсіюванням бета-частинок в самому препараті. Коефіцієнт поправки на само послаблення знаходиться у складній залежності від товщини активного шару препарату, приблизно він обчислюється за формулою:

$$k = \frac{d_{1/2}}{0,693L} \left(1 - e^{-\frac{0,693L}{d_{1/2}}} \right),$$

де d – шар половинного послаблення в мг/см, L – товщина препарату в мг/см.

Зауважимо, що під шаром половинного послаблення розуміють товщину шару речовини, при проходженні через яку потік радіоактивного випромінювання зменшується на половину, помножену на густину речовини. В такому випадку ця величина набирає універсального характеру для всіх речовин і визначає проникну здатність даного радіоактивного проміння. Для знаходження $d_{1/2}$ прийнято товщину брати в см, а густину в мг/см. За наведеною вище формулою графік для визначення коефіцієнта самопоглинання k' (**Рис. 1**). Оскільки випромінювання від препарату з товстим шаром анізотропне, повна поправка на само послаблення дорівнює $k = k'\eta$, де η – поправка на анізотропію випромінювання (**Рис. 2**). Коли товщина активного шару менша $0.1d_{1/2}$, поправкою на самопоглинання нехтують (вона лежить в інтервалі 0.95-1).

II. Поправка на анізотропію випромінювання (η)

Препарат з товстим активним шаром в різних напрямках має рівну інтенсивність випромінювання. Це впливає на швидкість рахунку

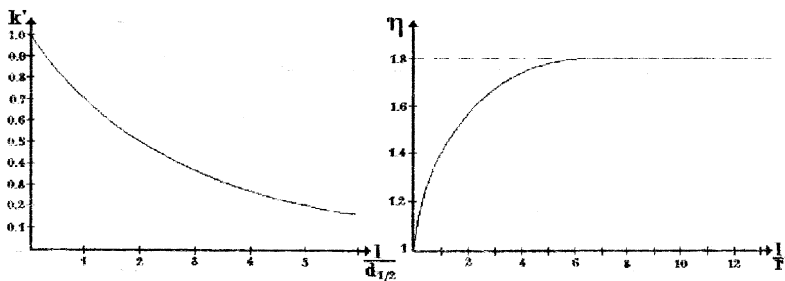


Рис. 1

Рис. 2

лічильника при певних геометричних умовах. Поправку на анізотропію випромінювання η приблизно дає графік (Рис. 2). На осі абсцис

відкладається відношення $\frac{I}{r}$, I – відстань від препарату до чутливого об'єму лічильника, r – внутрішній радіус лічильника.

В лічильнику СБТ-7 чутливий об'єм лічильника починається вище 2 мм від вікна, внутрішній радіус 10 мм.

III. Поправка на тілесний кут (ω)

Вона показує ту частину від усього випромінювання, яка попадає в лічильник. У випадку точкового препарату поправка ω знаходиться за

графіком (Рис. 3). По осі відкладається відношення $\frac{I}{r}$, де I – відстань

від препарату до чутливого об'єму лічильника, r – радіус лічильника. Коли ж препарат не точковий, то поправку ω потрібно помножити на

додатковий коефіцієнт b , знаходять за наведеною далі таблицею на перетині рядка, де стоїть знайдене значення $\frac{I}{r}$, і стовпчика, що

відповідає відношенню $\frac{R}{r}$, де R – радіус препарату. Радіус лічильника $r = 10$ мм.

IV. Поправка на зворотне розсіювання від підкладки препарату (q)

Деяка кількість бета-частинок, що розсіюється на підкладці препарату, відбивається від неї і вливається в потік частинок, що рухаються до лічильника. Це зворотне розсіювання збільшується із збільшенням товщини атомного матеріалу підкладки, проте до певної межі. Воно досягає максимуму при товщині підкладки рівній 0,2 від максимального пробігу бета-частинки і далі практично не змінюється.

	0.01	0.25	0.50	0.75	1.0	2.0
0.6	0.93	1	0.93	0.81	0.74	-
0.8	1	1	0.94	0.82	0.76	-
1.0	1	1	0.95	0.84	0.79	-
2.0	1	1	0.97	0.92	0.88	0.66
3.0	1	1	0.98	0.95	0.94	0.78
4.0	1	1	0.99	0.97	0.96	0.86
5.0	1	1	1.0	0.97	0.96	0.90

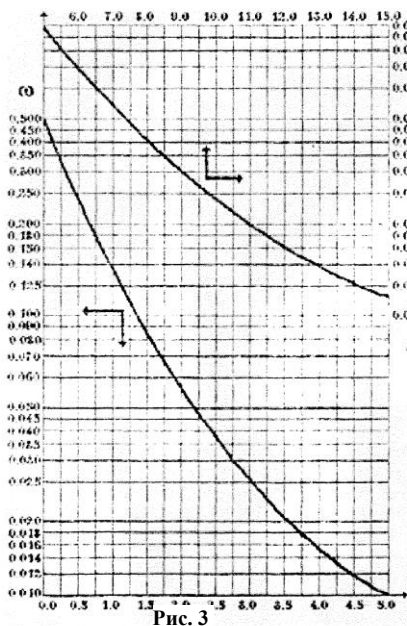


Рис. 3

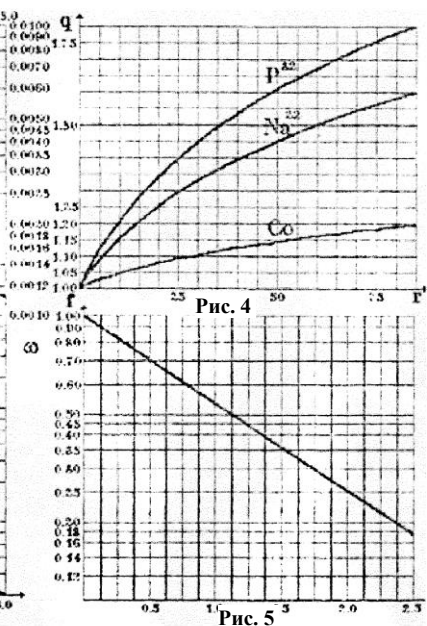


Рис. 4

Рис. 5

На Рис. 4 наводяться експериментальні криві для поправок на зворотне розсіювання від товстих підкладок залежно від матеріалу підкладки і препарату (енергії бета-частинок). Поправкою можна знехтувати, коли підкладка алюмінієва фольга або тонкий папір.

V. Поправка на поглинання в повітрі і вікні лічильника (f)

Ця поправка на поглинання залежить від сумарної товщини повітря і віконця лічильника, яку проходять бета-частинки. Її звичайно вираховують в $\text{мг}/\text{см}^3$. Поправку знаходимо за графіком (Рис. 5). Товщина слюдяного віконця лічильника МСИ-17 становить $5 \text{ мг}/\text{см}$.

VI. Поправка на “мертвий час” лічильника (P)

Після реєстрації імпульсу лічильник протягом деякого часу не

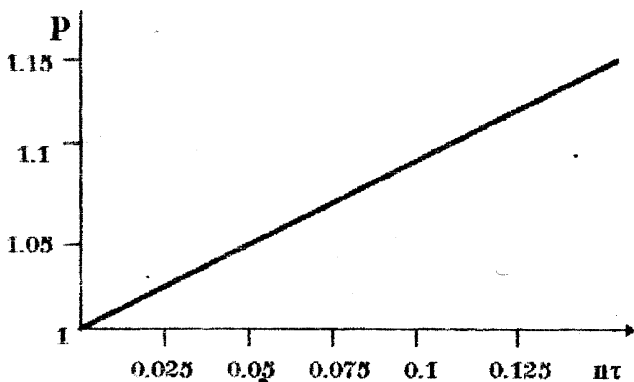


Рис. 6

реагує на нові частинки. Це так званий “мертвий час” лічильника τ . Якщо швидкість рахунку установки n імпл/с, то очевидно, що $n\tau$ – загальний “мертвий час” від всіх частинок, що попали в лічильник за 1 с. Залежно від цього часу визначаємо за графіком (Рис. 6) поправку P . Певно, чим менша швидкість лічби, тим точніші покази лічильної установки.

Для установки з лічильником СБТ – 7 та перерахунковим приладом ПП-16 залежно від коефіцієнта перерахунку дорівнює:

$$X_1 - 0,01 \text{ с} \qquad X_{16} - 5,10 \text{ с}$$

$$X_4 - 5,10 \text{ с} \qquad X_{64} - 5,10 \text{ с}$$

Вимірювання активності спрощується для бета-препаратів типу P^{32} , S^{35} ..., у яких відсутнє гама-випромінювання. В цілях спрощення випромінювання радіоактивний ізотоп наносять тонким шаром, меншим від $0,1d_{1/2}$ (зокрема для P^{32} – меншим $11,8 \text{ мг/см}^2$, для S_2^{30} – меншим $2,0 \text{ мг/см}^2$, для S^{35} – меншим $0,3 \text{ мг/см}^2$) з тим, щоб можна було знехтувати самопоглинанням, для підкладки беруть тонку алюмінієву фольгу або папір, завдяки чому нехтують поправкою на зворотне розсіювання бета-частинок.

Визначення мертвого часу лічильника

Мертвий час лічильника – це час утворення і гасіння імпульсів в лічильній трубці. На протязі цього часу трубка не реєструє частинки, які в неї потрапили. Цей час також називають дозволяючим часом. Мертвий час лічильника обмежує найбільше число імпульсів, які трубка може зареєструвати за секунду при рівномірному попаданні частинок в трубку, від нього залежить дозволяюча здатність лічильника або максимальна швидкість лічильника.

$$\frac{N}{N_0} : \left(\eta = \frac{N}{N_0} \right)$$

Відношення числа зареєстрованих частинок до загального числа N_0 частинок, які пролетіли через лічильник за той самий час, називають **ефективністю** лічильника.

Якщо за t лічильник зареєстрував N частинок із N_0 частинок, які пролетіли через нього за цей час, то на протязі часу N_τ лічильник був виключений, так як знаходився в періоді мертвого часу. Число незареєстрованих частинок складало $n=N-N_0$. З другої сторони n можна визначити як частину частинок (із загального числа частинок N_0), які пролетіли через лічильник за час N_τ : $n = N_0 \tau N$.

Таким чином, $N_0 - N = N_0 N \tau$, звідки:

$$\tau = \frac{N_0 - N}{N_0 N}. \quad (1)$$

Дослідно N_0 визначити неможливо, тому використаємо прийом, який дає можливість виключити N_0 . З цією ціллю потрібно взяти два радіоактивних препарати N_0 – число частинок, які пролетіли через лічильник від першого препарату (із них було зареєстровано N') N'_0 – число частинок, які пролетіли від другого препарату (зареєстровано N'').

Загальна кількість частинок, які пролетіли через лічильник від двох препаратів:

$$N_0 = N'_0 + N''_0. \quad (2)$$

Із рівняння (1):

$$N_0 = \frac{N}{1 - \tau N}. \quad (3)$$

Якщо в лічильнику залишити тільки перший препарат, то:

$$N'_0 = \frac{N'}{1 - \tau N'}, \quad (4)$$

а якщо залишити другий, то:

$$N''_0 = \frac{N''}{1 - \tau N''}. \quad (5)$$

Підставивши значення рівностей N_0 , N'_0 , N''_0 із (4), (5), (3) в рівність (2), знайдемо:

$$\frac{N}{1 - \tau N} = \frac{N'}{1 - \tau N'} + \frac{N''}{1 - \tau N''},$$

звідки можна отримати робочу формулу:

$$\tau = \frac{N' + N'' - N}{2N'N''}. \quad (6)$$

Завдання I

1. Ознайомитись з функціональною схемою лічильника і призначенням всіх блоків.

2. Ознайомитись з блоком ручного управління та іншими засобами управління і інформації, які знаходяться на передній і задній панелі приладу.

3. Підготувати прилад до роботи, для цього:

а) вставити газовий лічильник в заклеми БГС-4, дотримуючи полярність;

б) включити кабель живлення в сіть змінної напруги 220 В;

в) перемикач знаку полярності сигналу на приладі ПП-16 встановити в положення “ \sim ”;

г) нажати кнопку “Сброс” – покази всіх декактронів повинні стати на “0”;

д) нажати кнопку “50 Гц” і перевірити правильність роботи лічильної схеми, при цьому на вході приладу ПП-16 автоматично подається змінна напруга з частотою 50 Гц;

е) впевнитись в роботі всіх декактронів, після цього нажати кнопку “сброс” при цьому лічба повинна припинитись;

ж) нажати кнопку “Сброс” – покази всіх декактронів повинні скинутись на нуль, прилад готовий до роботи;

з) в робочий зошит зарисуйте функціональну схему приладу і панель управління.

Завдання II

1. Докладно ознайомитись з теорією випромінювання активності бета-препарату за інструкцією та рекомендованою літературою. Ознайомитись з будовою лічильної установки та з'ясувати зміст поправок до її показів для визначення активності бета-препарату.

2. Включити установку без радіоактивного препарату, перемикач знаку полярності поставити в положення П, і провести рахунок імпульсів протягом 5 хв. знайти фон $n_{пр}$ в імп/хв.

3. На відстані 3 см від лічильника покласти досліджуваний бета-препарат і за допомогою установки провести рахунок імпульсів протягом 5 хв. За цими даними знайти $n_{пр}$ в імп/хв.

4. Визначити за допомогою графіків поправки: k , ω , q , f , P .

5. Обчислити активність бета-препарату.

Завдання III

1. Розмістити під лічильником обидва радіоактивні препарати поблизу. Включити установку і секундомір на 3 хв. записати число

зарєєстрованих імпульсів N . Дослід повторити три рази.

2. Забрати другий препарат, проробити аналогічно тричі по 3 хв. кожен раз, визначити число імпульсів N' , зарєєстрованих від першого препарату.

3. Забрати перший і покласти другий препарат. Проробити аналогічно тричі по 3 хв. кожен раз, визначити число імпульсів, зарєєстрованих лічильником від другого препарату N'' .

4. Привести робоче місце в порядок.

Обробка результатів та вимірювання.

1. Підрахувати середнє значення: N , N' , N'' .

2. По формулі (9) підрахувати мертвий час лічильника τ .

3. По формулі (6), (7), (8) визначити: N_0 , N'_0 , N''_0 .

4. Визначити ефективність лічильника $n = N/N_0$.

5. Відносна похибка підрахунку: $E = (N_0 - N)/N_0$ – для неполярних частинок.

6. Із рівняння (4) підрахувати $E = \tau N_0$.

Контрольні питання

1. Що називається газорозрядним лічильником ?

2. Пояснити вольтамперну характеристику в газі?

3. Назвати види лічильних трубок.

4. Пояснити принципову схему лічильної установки.

5. Пояснити як працюють самогасні трубки.

6. Що таке мертвий час лічильника?

7. Що таке дозволяюча здатність лічильника?

8. Що називають ефективністю лічильника?

9. Що називають лічильною характеристикою трубки? Пояснити виникнення, примінення плато на лічильній характеристиці трубки.

10. Запишіть реакцію бета-розпаду ядра фосфору 32. Інші відомі реакції.

11. Що називають активністю препарату? Якими одиницями вимірюють активність?

12. Які поправки потрібно внести до показу лічильної установки для визначення активності препарату ?

13. Які найбільш істотні поправки лічильної установки?

Лабораторна робота 15 - 16

РАДІАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ РАДІОМЕТРА „ПРИП’ЯТЬ”

Мета: Навчитись працювати з приладами та визначати радіаційну обстановку в місцях проживання і роботи населення.

Прилади і матеріали: Радіометр „Прип’ять”, кювети, досліджувані препарати.

Основні характеристики радіометра „Прип’ять”

Радіометр „Прип’ять” призначений для використання населенням з метою контролю радіаційної обстановки на місцевості, в робочих і житлових приміщеннях. За допомогою радіометра можна виміряти: величину зовнішнього гамма-фону; забрудненість радіоактивними речовинами житлових і промислових приміщень, будинків, предметів побуту, одягу; склад радіоактивних речовин в продуктах. Технічні характеристики радіометра:

1. Діапазон випромінювань питомої активності від $1 \cdot 10^{-7}$ до $2 \cdot 10^{-5}$
2. Межі основної відносної похибки, що допускається $\pm 25 \%$.
3. Енергетична залежність в діапазоні енергій реєстрованого гамма-випромінювання від 0.05 до 0.66 MeV $\pm 25 \%$ в діапазоні енергій від 0.66 до 3.0 MeV $+ 40 \%$
4. Межі, які допускаються для додаткової похибки, яка викликана зміною температури навколишнього середовища на $10 \text{ }^\circ\text{C}$ в межах діапазону (20 ± 5) $^\circ\text{C} \pm 10 \%$.
5. Межі які допускаються для додаткової похибки, що викликана зміною напруги живлення в межах діапазону ($8,0 \pm 0,8$), в діапазоні від 4,7 до 12 В, не більш 10% .

6. Час встановлення робітника режиму не більше 5 с.
7. Як детектори бета- і гамма-випромінювання в радіометри використовуються вбудовані лічильники типу СБМ-20.

Призначення органів управління радіометра "Прип'ять"

1. ЖИВЛЕННЯ – Вимикач живлення радіометра.
2. К.П – Кнопка контролю живлючої напруги.
3. РЕЖИМ $\gamma - \beta$ – Перемикач вигляду іонізуючого випромінювання: γ – гамма-випромінювання; β – бета-випромінювання
4. $\dot{H} - \dot{X}$ – Перемикач виду вимірної потужності дози гамма-випромінювання: \dot{H} – потужність еквівалентної дози, мкЗв/ч; \dot{X} – потужність експозиційної дози, мР/ч.
5. $\varphi - Am$ – Перемикач виду вимірної величини при вимірюванні бета-випромінювання: φ – густина потоку, част./(хв · см²); Am – питома активність, Ки/кг.
6. МЕЖА – Перемикач меж вимірювань: нижнє положення – чутливий піддіапазон; верхнє положення – піддіапазон, на якому чутливість радіометра в 10 разів нижче.
7. ЧАС – Перемикач часу встановлення показів: 20, 200 с; 10, 100 хв. Нижнє положення: 20 с – мінімальний час встановлення показів при вимірюванні потужності дози γ і густина потоку φ ; 10 хв – мінімальний час встановлення показів при вимірюванні питомої активності Am ; верхнє положення – час встановлення показів збільшується в 10 разів – 200 с і 100 хв.
8. D= – Вимикач звукового сигналу.

Підготовка до роботи і порядок роботи з радіометром

1. Радіометр є приладом з цифровою індикацією. При вимірюванні необхідно прочитувати покази цифрового індикатора з врахуванням положень перемикачів виду вимірюваного іонізуючого випромінювання і діапазону. Максимальна вмістимість цифрового індикатора 1999.
2. Перед початком роботи з радіометром необхідно встановити батарею живлення «Корунд» або підключити зовнішнє джерело – блок живлення «Електроніка Д2-10М». Для контролю величини напруги живлення необхідно нажати кнопку КП. На цифровому індикаторі з'являться чотири цифри з комою після другої, показує напругу в вольтгах (8 ± 1 В). Перед вимірами провести контроль напруги живлення (якщо вона нижче 6 В, то необхідно замінити джерело живлення).

Вимірювання потужності дози гамма-випромінювання

1. Потужність дози гамма-випромінювання вимірюється при встановленій кришці-фільтрі γ . Радіометр вимірює потужність експозиційної дози в мілірентгенах на годину (мР/год) або потужність еквівалентної дози в мікрозвертах на годину (мкЗв/год). Вибір виду вимірюваної потужності дози здійснюється перемикачем $\dot{H} - \dot{X}$.
2. Перед вимірюванням потужності експозиційної дози перемикачі

на передній панелі радіометра встановіть в наступні положення:

РЕЖИМ-У;

$\dot{H} - \dot{X} - \dot{X}$;

МЕЖА – нижнє положення;

ЧАС – 20 с. (нижнє положення);

Ф-Ам-Ам;

D= – за бажанням оператора.

2. Включіть радіометр. При цьому на цифровому табло повинне з'явитися чотиризначне число з комою після першої цифри.

Не менше ніж через 20с. запишіть покази приладу в мР/год. Наприклад, на цифровому індикаторі з'явилося число 0,114. Це означає, що потужність експозиційної дози гамма-випромінювання складає 0,114 мР/год. або, що те ж саме. – 114 мкР/год (мікрорентген в годину).

При вимірюваннях малих рівнів потужності дози спостерігається значний розкид показів радіометра, викликаний статистичним характером радіоактивного розпаду. Для підвищення точності вимірювання необхідно при величині потужності експозиційної дози до 0,100 мР/год перемикач ЧАС перевести у верхнє положення, через 200с. провести замірювання п'яти -десяти послідовних показів і визначити середнє значення.

При вимірюванні потужності еквівалентної дози перемикач $\dot{H} - \dot{X}$ перевести в положення \dot{H} і провести замірювання показів в мікрозівертах в годину.

3. Якщо на цифровому індикаторі спостерігається швидке збільшення показників і з'явиться сигнал переповнення (відображається одиниця старшого розряду, а інші 3 цифри погаснуть), то перемикач МЕЖА необхідно перевести у верхнє положення і через 20-30 с рахувати покази.

Наприклад, на цифровому табло з'явилося число 17,52. Це означає, що потужність експозиційної дози гамма-випромінювання складає 17,52 мР/год.

Якщо в верхньому положенні перемикача МЕЖА через 30-40с. зберігається сигнал переповнення, то це означає, що потужність експозиційної дози перевищує 20 мР/год.

7. Для оперативного пошуку на місцевості ділянок підвищеного гамма-фону рекомендується використовувати звуковий індикатор, частота сигналів якого пропорційна потужності дози гамма-випромінювання. Вимикач при цьому переводиться в положення D=.

Вимірювання радіоактивного забруднення

1. При вимірюванні радіоактивного забруднення бета-частинками необхідно пам'ятати, що газорозрядні лічильники, що використовуються в радіометрі, фіксують гамма- і бета-випромінювання. Тому, для обліку впливу гамма-фону необхідно спочатку провести вимірювання із закритою кришкою-фільтром на відстані 1-2 см від контрольованої

поверхні, а потім провести вимірювання із знятою кришкою на тій же відстані.

2. Перед вимірюванням радіоактивного забруднення перемикачі на передній панелі радіометра встановить в наступні положення:

РЕЖИМ – β ;

\dot{H} – \dot{X} – будь-яке;

МЕЖА – нижнє положення;

ЧАС – 20с. (нижнє положення);

Φ –Am– ϕ ;

D= – за бажанням оператора.

3. Радіоактивне забруднення визначається шляхом вимірювання радіометром густини потоку бета-випромінювання при знятій кришці-фільтрі «Y». Для зняття кришки-фільтра необхідно змістити фіксатор убік від кришки і перевернути радіометр кришкою вниз.

УВАГА! При знятій кришці-фільтрі необхідно уникати пошкодження захисної плівки, що закриває лічильники іонізуючого випромінювання від забруднення радіонуклідами.

Вимірювання радіоактивного забруднення на межі «нижнє положення» здійснюється в одиницях густини потоку бета-випромінювання (частинок в хвилину на квадратний сантиметр), част./хв*см², на межі «верхнє положення» в тисячах частинок в хвилину на квадратний сантиметр (103 част./хв*см²).

4. Для отримання величини радіоактивного забруднення поверхні необхідно з показів радіометра із знятою кришкою-фільтром поз.10 відняти значення показів радіометра із закритою кришкою-фільтром.

Наприклад, на цифровому індикаторі при вимірюванні із закритою кришкою-фільтром з'явилося число 0171, а з відкритою кришкою-фільтром – 0327. Це означає, що забруднення поверхні бета-активними речовинами складає: 327–171=156 част./хв*см².

При вимірюванні малих значень радіоактивного забруднення і гамма-фону (менше 100 част./хв*см²) для підвищення точності вимірювань необхідно перемикач ЧАС перевести у верхнє положення. Не менше, ніж через 200с. проводити замір п'яти послідовних показів і визначати середні значення. Провести обчислення як вказано вище.

5. Якщо на цифровому табло спостерігається швидке збільшення показів і через декілька секунд з'явиться сигнал перевантаження, то перемикач МЕЖА необхідно перевести у верхнє положення і через 30-40 с. виконати вимірювання по п.4.

Наприклад, 12.41. Це означає, що радіоактивне забруднення бета-частками контрольованої поверхні складає 12.41*103 част./хв*см².

Якщо через 20-30 з після переключення перемикача МЕЖА зберігається сигнал переповнення, значить радіоактивне забруднення перевищує 20*103 част./хв*см².

Вимірювання питомої активності

1. Питома активність бета-випромінюючих нуклідів в продуктах харчування і інших пробах зовнішнього середовища вимірюється в спеціально доданій до приладу кюветі при знятій кришці-фільтрі. Одиниця вимірювань питомої активності – кюрі на кілограм (Ки/кг).

2. Для вимірювання питомої активності необхідне виконання наступних умов:

1) рівень гамма-фону, по можливості, не повинен перевищувати 0,025 мР/год, для чого бажане вимірювання проводити в закритих чистих приміщеннях з мінімальним рівнем фону;

2) при підвищених значеннях фону гамма-випромінювання, місце розташування вимірюваної проби бажано екранувати (обкласти з усіх боків свинцевими брусами або сталевими листами завтовшки 20–40 мм);

3) робоче місце повинне мати покриття (клейонка, полістилен), що миється і допускає багаторазове вологе прибирання.

3. Досліджувані харчові продукти готуються в тому вигляді, в якому вони підлягають споживанню, тобто ретельно обчищеними, вимитими, відварєними і т.д. Пробу харчового продукту необхідно подрібнювати, наприклад, на терці чи в м'ясорубці, або нарізати дрібними часточками.

4. Перемикачі на передній панелі радіометра встановити в наступні положення:

РЕЖИМ – β ;

Ф–Ап–Ап;

МЕЖА – нижнє положення;

ЧАС – 100 хв (верхнє положення);

$\dot{N} - \dot{X}$ – будь-яке.

5. Встановіть радіометр зі знятою кришкою-фільтром на наперед підготовлену чисту кювету. Включіть радіометр і не менше, ніж через 100 хв, проведіть замірювання трьох послідовних значень фону і знайдіть середнє значення.

6. Розмістіть в кювету підготовлену пробу так, щоб проба знаходилася нижче за краї кювети на 3-5 мм щоб уникнути забруднення радіометра пробою.

7. Не менше, ніж через 100 хв проведіть вимірювання трьох послідовних показів і визначте середнє значення. Для отримання величини питомої активності проби необхідно з набутого значення відняти середнє значення фону. Одержана різниця є зміряним значенням питомої активності проби.

Наприклад, середнє значення показів радіометра при вимірюванні проби склало 0450, а при вимірюванні фону 0320. Різниця складає: $0450 - 0320 = 130$. Набуте значення необхідно помножити на показник ступеня піддіапазону, на якому проводилися вимірювання, тобто на $1 \cdot 10^{-9}$.

Отже, активність проби складає $130 * 10^{-9}$ Ки/кг або $1.3 * 10^{-7}$ Ки/кг.

Для оперативного контролю питомої активності потрібно перемикач ЧАС перевести в нижнє положення і вимірювання проводити через 10 хв, при цьому дещо збільшиться похибка вимірювання.

Для прискорення скидання показів між вимірюваннями рекомендується перемикач ф-Ам перевести в положення ф, а ЧАС – в нижнє положення. При цьому час скидання показів складає 30-40с.

8. Якщо на цифровому індикаторі з'явиться сигнал перевантаження, то перемикач МЕЖА необхідно перевести у верхнє положення, перемикач ЧАС – в нижнє положення. Через 10 хв провести прочитування трьох послідовних показів і визначити середнє значення.

При цих же положеннях перемикачів необхідно провести вимірювання фону, відняти його з одержаних показів радіометра при вимірюванні питомої активності проби і помножити на показник ступеня піддіапазону, рівний $1 * 10^{-6}$. Наприклад, покази при вимірюванні проби 2,72, а при вимірюванні фону 0,47. Тоді активність проби складе $(2,72 - 0,47) * 10^{-6} = 2,25 * 10^{-6}$ Ки/кг.

Перевірка

1. Контроль основної відносної похибки вимірювання потужності експозиційної дози гамма-випромінювання проводиться таким чином.

2. Провести вимірювання зовнішнього гамма-фону в режимі вимірювання потужності експозиційної дози при положенні перемикача ЧАС «20 с» і визначити середнє значення з трьох послідовних показів Рф, мР/год.

3. Видалити кришку-фільтр «У» і встановити радіометр на пристосування для перевірки із зразковим джерелом ІСО-801.

4. Провести прочитування трьох послідовних показів радіометра не менш, ніж через 20с після початку вимірювання і визначити середнє значення

$$P_{\gamma + \phi}, \text{ мР/год.}$$

5. Обчислити зміряне значення потужності експозиційної дози P_{γ} в мР/год по формулі:

$$P_{\gamma} = \overline{P_{\gamma}} + \Phi - \overline{P_{\phi}} \quad (1)$$

6. Обчислити розрахункову потужність експозиційної дози від зразкового джерела ІСО-801 P_{γ_0} , мР/год;

$$P_{\gamma_0} = K * \Phi_0 \quad (2)$$

де:

Φ_0 – вихід бета-часток зразкового джерела згідно свідоцтву про атестацію, с^{-1} ;

K – градуїруючий коефіцієнт переходу, $K = 7 * 10^{-3}$ мР/год*с.

7. Визначити основну відносну похибку радіометра при вимірюванні потужності експозиційної дози, у відсотках, по формулі:

$$\delta\gamma = \frac{P\gamma - P\gamma_0}{P\gamma_0} * 100. \quad (3)$$

Основна відносна похибка радіометра при вимірюванні потужності експозиційної дози повинна знаходитися в межах $\pm 25\%$.

8. Контроль основної відносної похибки радіометра при вимірюванні густини потоку бета-випромінювання.

9. Відповідно до розділу 5.6 провести вимірювання зовнішнього фону в одиницях густини потоку бета-випромінювання і визначити середнє значення з трьох послідовних показів.

10. Встановити радіометр із знятою кришкою-фільтром на пристосування для перевірки із зразковим джерелом ІСО-801.

11. Не менше ніж через 20 с провести вимірювання трьох послідовних показів радіометра і визначити середнє значення.

12. Обчислити змряне значення густини потоку бета-часток від джерела, $\text{хв}^{-1} * \text{см}^{-2}$, по формулі:

$$\varphi\beta = \overline{\varphi\beta} + \Phi - \overline{\varphi\Phi} \quad (4)$$

13. Повторити операції по 2; 3; 4 з джерелами ІСО-212 і ІСО-213.

14. Розрахувати основну відносну похибку радіометра при вимірюванні густини потоку бета-часток кожного джерела $\delta\beta$, у відсотках, по формулі:

$$\delta\beta = \frac{\varphi\beta - \varphi_0}{\varphi_0} * 100, \quad (5)$$

де: φ_0 – густина потоку бета-випромінювання від зразкового джерела $\text{хв}^{-1} * \text{см}^{-2}$;

$$\varphi_0 = \chi * \Phi_0, \quad (6)$$

χ – коефіцієнт, рівний $4.1 \text{ см}^{-2} \text{ с хв}^{-1}$;

Φ_0 – вихід бета-часток зразкового джерела згідно свідоцтву про атестацію, с^{-1} . Основна відносна похибка радіометра при вимірюванні густини потоку бета-випромінювання повинна знаходитися в межах $\pm 25\%$.

15. Контроль основної відносної похибки радіометра при вимірюванні питомої активності проводити таким чином.

16. Встановити перемикач піддіапазону у верхнє положення в відповідності з розділом 5.7, через 10 хвилин після початку вимірювання

провести зняття трьох послідовних показів зовнішнього фону в режимі вимірювання питомої активності, визначити середнє значення $\bar{Q}\Phi$, Ки/кг.

17. Встановити радіометр із знятою кришкою-фільтром на пристосування для перевірки зразковим джерелом ІС(О)-801

18. Провести зняття трьох послідовних показів радіометра через 10 хвилин після початку вимірювання і визначити середнє значення \bar{Q} , Ки/кг.

19. Розрахувати зміряну активність джерела А, Бк по формулі:

$$A = P(\bar{Q} - \bar{Q}\Phi) \quad (7)$$

де: P – перехідний коефіцієнт $P=1,4 \cdot 10^7 \text{ Бк} \cdot \text{Ки}^{-1} \cdot \text{кг}$.

20. Обчислити основну відносну похибку радіометра при вимірюванні питомої активності δ_A , в процентах, по формулі:

$$\delta_A = \frac{A - A_0}{A_0} * 100.$$

де: A_0 – активність зразкового джерела згідно свідцтва про атестацію, Бк.

Основна відносна похибка радіометра при вимірюванні питомої активності повинна знаходитися в межах $\pm 25\%$.

Контрольні запитання

1. Що таке α, β, γ – випромінювання? Яка його дія на організм людини?
2. Будова та призначення приладу „Припять”.
3. Які способи захисту від радіоактивного випромінювання?
4. Що таке доза опромінювання, потужність дози, їх одиниці вимірювання?

Лабораторна робота №17

ВИВЧЕННЯ ПОГЛИНАННЯ ГАМА-ПРОМІННЯ У СВІНЦІ ТА АЛЮМІНІЇ

Мета: Познайти з видами взаємодій гама-проміння з речовиною та експериментально визначити коефіцієнт поглинання.

Прилади і матеріали: свинцевий дощик з лічильником, радіоактивний препарат Со-60, свинцеві та алюмінієві пластинки, секундомір, перерахунковий прилад ПП-16, мікрометр.

Правила техніки безпеки

1. Установка включається в електричну мережу змінного струму напругою 220В, небезпечною для життя. Тому до включення необхідно перевірити справність підвідних провідників.

2. Корпус свинцевого дощика та прилад ПП-16 повинні бути заземленими.

3. Включати прилад в електричну напругу можна лише з дозволу керівника заняття.

4. Радіоактивний препарат та металічні пластинки переносити лише за допомогою пінцета.

Теоретичні відомості

Поглинання гама-проміння речовинами переважно обумовлене трьома процесами: фотоефектом, комптонівським розсіюванням і явищем утворення електронно-позитронних пар.

При енергіях фотонів до 0.1 МеВ поглинання гама-проміння речовиною відбувається головним чином за рахунок фотоефекту, при чому електрони звільняються і вилітають з внутрішніх шарів атома k або L , після чого відбувається заповнення вакантних місць на електронних шарах з наступним випромінюванням рентгенівського проміння.

При поглинанні гама-квантів з енергією 0,5-2 МеВ, суттєву роль починає відігравати комптонівське розсіювання. При цьому енергія гама-квантів передається електрону не повністю, як при фотоефекті, а частково. З атомів виривається електрон, а енергія гама-кванта зменшується, отже збільшується довжина його хвилі.

Поглинання гама-проміння з енергією більшою 1.1 МеВ, в кулонівському полі ядер атомів з великим атомним номером, супроводжується утворенням пар електрон-позитрон.

Переважає будь-якого з цих процесів, що обумовлюють поглинання гама-проміння, залежить як від енергії гама-квантів, так і від

поглинаючої речовини.

Вивчення поглинання вузьконапрявленого гама-проміння показує, що процес відбувається за законом:

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

де I_0 – інтенсивність гама – проміння до поглинання,

x – товщина поглинаючої речовини,

μ – лінійний коефіцієнт поглинання.

Оскільки, між інтенсивністю гама-проміння і швидкістю лічби n (імп/хв) квантів гама-проміння існує пропорційна залежність, можна записати:

$$n_i = n_0 e^{-\mu x},$$

де n_0 – інтенсивність гама-квантів до поглинання,

n_i – швидкість лічби гама-квантів після поглинання.

Процеси, що обумовлюють вбирання гама-проміння речовиною:

а) фотоэффект;

б) комптонівське розсіювання;

в) утворення електронно-позитронних пар.

З останньої формули визначаємо лінійний коефіцієнт поглинання:

$$\mu = \ln(n_0/n_i)/x. \quad (1)$$

Лінійний коефіцієнт поглинання показує відносне зменшення інтенсивності гама-проміння при проходженні одиниці товщини поглинаючої речовини. Велике значення для практичних розрахунків і характеристики поглинаючих речовин має товщина шару половинного поглинання:

$$d_{1/2} = \ln 2 / \mu = 0,693 / \mu \quad (2)$$

Опис установки

Вивчають поглинання гама-проміння за допомогою лічильника Гейгера-Мюллера СИ-1Г та перерахункової установки ПП-16, зібраної на газорозрядних лічильниках гама-декаторах.

Свинцевий домок ДС призначено для екранування лічильника Гейгера-Мюллера, щоб запобігти вливу стороннього випромінювання та захисту експериментатора від радіоактивного препаратів.

Джерелом гама-проміння служить радіоактивний препарат з кобальту 60. Препарат розміщується перед віконцем лічильника на спеціальній підставці, між ними розміщують свинцеві пластинки,

товщину яких вимірюють за допомогою мікрометра.

Підготовка приладу до роботи

1. Включити кабель живлення в мережу змінної напруги 220В.
2. Перемикач знака полярності на приладі ПП-16 поставити в положення “~”.
3. Натиснути і зафіксувати кнопку “Вход” 1:1.
4. Включити перемикач “Сеть”.
5. Натиснути кнопку “Сброс”. Покази всіх декатронів повинні встановитись на нуль.
6. Натиснути кнопки “50 Гц” та “Пуск” і перевірити справність перерахункової системи.
7. Впевнитись в роботі всіх декатронів, натиснути кнопку “Стоп” при цьому відлік закінчується.
8. Вимкнути кнопки “50 Гц” і “~”.

Виконання роботи

1. В свинцевий дощик внести препарат, поклавши його на підставку на віддалі 6-7 см від
2. Кнопка 1:1 повинна бути включена.
3. Натиснути кнопку “Пуск”, провести вимірювання імпульсів на протязі 3 хв. І знайти n_0 .

4. Положити препарат свинцеву пластинку вимірявши попередньо її товщину x . Знову провести підрахунок імпульсів протягом 3 хв. та знайти n_i . За цими даними і формулою (1) обчислити μ_i . Дослід повторити з накладанням додатково другої пластинки, після 3, 4, 5 пластинок і кожного разу визначити μ .

5. Знайти середнє значення коефіцієнта лінійного поглинання $\mu_{сер}$ у свинці.

6. Знаючи $\mu_{сер}$, за формулою (2) знайти товщину шару половинного поглинання гама-проміння $d_{1/2}$.

7. За даними вимірювання n_i і x_i побудувати графік: $n = f(x)$.

8. Так само повторити досліди з алюмінієвими пластинками.

Порівняти значення добутоків $d_{1/2} \cdot \rho$ (ρ – густина) для алюмінію та свинцю.

Контрольні запитання

1. Що таке гама-промені?
2. Яка природа гама-променів?
3. Чим обумовлюється велика проникна здатність гамавипромінювання?
4. В чому полягає взаємодія гама-випромінювання з середовищем?

5. Види взаємодії гама-випромінювання з середовищем.
6. За рахунок чого відбувається послаблення інтенсивності гама-проміння при проходженні крізь речовину?
7. Який фізичний зміст лінійного коефіцієнта послаблення?
8. Що має назву шару напівпослаблення?
9. Чому важкі матеріали є найбільш ефективними для захисту від гама-променів?

Лабораторна робота № 18

ВИВЧЕННЯ РОБОТИ РАДІОМЕТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТА ЛІЧИЛЬНИКІВ ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА.

Мета: Зняття робочої характеристики лічильника СИІГ та визначення його параметрів (напруги початку лічби (запалювання) U_1 , ширини та нахилу плато, робочої напруги U_p)

Прилади і матеріали: радіометрична установка Б-4, лічильник Гейгера-Мюллера СИІГ, перерахунковий прилад ПП-9М.

Правила техніки безпеки.

1. Радіометрична установка включається в електричну мережу з напругою 220 В, небезпечною для життя людини. Тому, перед включенням її потрібно перевірити справність і ізоляцію підвідних провідників та контактної головки. Включати установку Б-4 в мережу можна лише з дозволу викладача або лаборанта.

2. В установці Б-4 трансформатор та випрямляч високої напруги, тому, під час включення в мережу, забороняється розкривати її захисний корпус та проводити біжучий ремонт. При несправності установки Б-4 необхідно доповісти керівникові занять.

Теоретичні відомості

Для реєстрації іонізуючих випромінювань широко використовуються лічильники типу Гейгера-Мюллера. Це газорозрядні лічильники, в яких елементарна частинка реєструється імпульсом струму, що викликається іонізаційною дією частинки в газах. В інших, так званих сцинтиляційних лічильниках, частинка реєструється за світловим спалахом, що виникає при попаданні частинки на люмінесцентний екран.

В даній роботі ставиться завдання вивчити газорозрядні лічильники типу Гейгера-Мюллера. Такі лічильники, звичайно, складаються з двох електродів: один – це провідний шар на внутрішній поверхні скляного циліндра, або ж просто металевий циліндр, другий – металева нитка, натягнута між ізоляційними основами вздовж осі циліндра. Циліндричний електрод 2 служить катодом, нитка – анодом (Рис. 1). На електроди лічильника подається електрична напруга, здатна підтримувати самостійну провідність газу в лічильнику. Однак така провідність тут починається лише тоді, коли в лічильник попаде елементарна частинка (бета-, або гама-фотон) і викличе початкову іонізацію газу. Названі ядерні частинки можна реєструвати за початком газового розряду в лічильнику. Коли розряд уже почався, попадання частинок у лічильник не буде істотно впливати на розрядний струм і тому їх не можна виявити. Отже, після кожної частинки, що попала в лічильник і викликала розряд, треба автоматично припинити розряд і цим зробити лічильник придатним для реєстрації наступної частинки.

За способом припинення розряду лічильники поділяються на самогасні і несамогасні. В несамогасних лічильниках для припинення розряду послідовно з анодом вмикається опір порядку кількох кОм. При виникненні розряду в лічильнику на опорі падає переважна частина напруги джерела струму, тому між електродами вона різко зменшується і розряд припиняється. У складніших схемах. Після припинення розряду початковий імпульс розрядного струму в лічильнику автоматично викликає негативний імпульс напруги від радіотехнічної установки. Цей процес триває близько 10^{-2} с і є так званим мертвим часом лічильника. Максимальна швидкість лічби таких лічильників не перевищує 100 імп./сек.

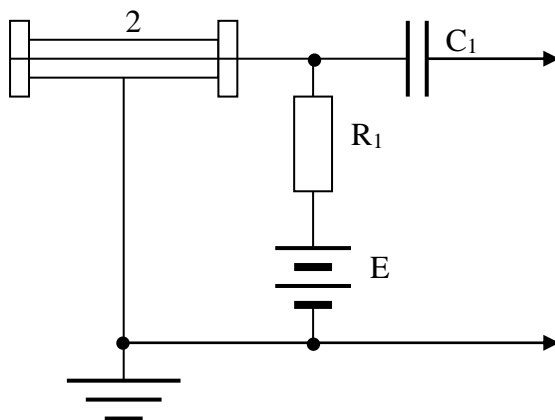


Рис. 1

Конструктивно простішу будову і більшу швидкість лічби мають самогасні лічильники. Припинення розряду в них досягається спеціальним добором газів, наприклад, сумішшю 90% аргону і 10% парів етилового спирту, або іншого багатоатомного газу, для якого іонізаційний потенціал менший, ніж для аргону. Загальний тиск газу в лічильнику становить близько 10^3 Па (10 мм. рт. ст.). Тут суть гасіння розряду така. В лічильнику радіальне електричне поле підсилюється в міру наближення до осі. Завдяки цьому біля осі електрони здійснюють ударні іонізації газу. Однак, початковий імпульс іонізації, викликаний ядерною частинкою, швидко закінчується, то легко рухомі електрони швидко засідають на аноді, а малорухливі електрони швидко засідають на аноді, а малорухливі ж позитивні іони ще деякий час оточують нитку анода і на стільки ослаблюють біля неї поле, що іонізація тут стає неможливою. В цей час лічильник не реагує на нові ядерні частинки.

В міру наближення позитивних іонів до катода, іони одноатомного газу нейтралізуються за рахунок виривання електронів з багатоатомних молекул. Останні перетворюються в важкі іони які при наближенні до катода виривають електрони з металу і перетворюються в нейтральні молекули. Деякі з цих молекул приходять в збуджений стан, але вони з більшою легкістю дисоціюють, ніж випромінюють фотони, які могли б викликати іонізацію газової суміші в лічильнику. Що до надлишкової енергії, яка звільняється при нейтралізації іонів одноатомного газу, в результаті зіткнення з молекулами спирту, то хоч вона випромінюється в ультрафіолетовій області спектра, але її поглинають молекули спирту, які мають широкі смуги поглинання в цій області. Це поглинання звичайно зумовлює дисоціацію молекул спирту. Отже, з цієї причини не відбувається іонізація газової суміші в лічильнику, розряд в ньому припиняється. Мертвий час самогасних лічильників $2 \cdot 10^{-4}$ с, робоча напруга 800-1100 В. Недоліком лічильників, наповнених такою сумішшю є те, що з часом кількість багатоатомних молекул в газі зменшується, оскільки вони дисоціюють на найпростіші. Легкі ж іони ударяються об катод і виривають з нього електрони, внаслідок чого розряд не буде припинятись. Тому, час дії таких лічильників обмежений. Після приймання 10^3 імпульсів, вони виходять з ладу. До недоліків цих лічильників слід віднести і те, що вони можуть працювати лише в обмеженій області температур 10-60 °С. Крім описаних, використовують ще галогенні лічильники, заповнені неонам з деякою добавкою аргону та хлору або броду (до 9%). Механізм припинення розряду в них аналогічний до лічильників з багатоатомним газом, але тут дисоційовані молекули броду чи хлору відновлюються до попередніх C_2Br_2 . Тому термін роботи таких лічильників необмежений. Галогенні лічильники можуть працювати при низьких температурах (до -50°C), робоча напруга на них 350-400 В.

Робоча характеристика і плато лічильника

Для правильного використання лічильника треба знати його робочу

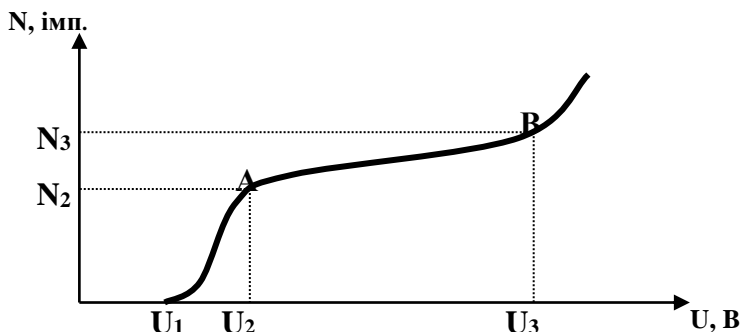


Рис. 2

характеристику, тобто залежність кількості імпульсів за одиницю часу від напруги на електродах при дії того ж препарату та незмінному його положенні відносно лічильника, тобто №.

Загальний вигляд такої залежності подано на **Рис. 2**. За характеристикою бачимо, що лічильник починає працювати при деякій напрузі U_1 . Із збільшенням напруги, швидкість лічби дуже зростає, а потім в інтервалі напруг від U_2 до U_3 залишається майже незмінною. При напрузі, вищій ніж U_3 швидкість лічби знову збільшується, доки не виникне неперервний газовий розряд. Частина робочої характеристики лічильника від U_2 до U_3 називають "плато". Очевидно, в цій частині кількість імпульсів за одиницю часу залежить лише від активності препарату. Тому вимірювати лічильником ядерне випромінювання можна тільки області його "плато".

Плато визначає якість лічильника. Практично плато не залишається строго горизонтальним, його нахил виражають відносним збільшенням швидкості лічби в процентах розрахованих на 1 В збільшенням напруги. Лічильники з нахилом плато більшим від 0,15% на 1 В вважають непридатними до роботи.

Нахил плато визначається співвідношенням:

$$\frac{N_3 - N_2}{\frac{1}{2}(N_3 + N_2)} \cdot \frac{100}{U_3 - U_2} \% / \text{В}.$$

Конструктивні особливості лічильника залежать від того, для якого ядерного випромінювання вони призначені. Зокрема треба врахувати, що бета-частинки мають різну енергію, тому їх проникна здатність не однакова. Для реєстрації бета-частинок з енергією 0,3 МеВ і більше використовують тонкостінні сталеві галогенні лічильники типу СТС-6 або алюмінієві з багатоатомним газом лічильники типу АС-1. Бета-частинки з такою енергією легко проникають через сталеву стінку лічильника завтовшки 0,1 мм, без поглинання. Для реєстрації бета-

частинок з енергією 0,2-0,1 МеВ використовують торцеві лічильники типу МСТ-17 (Рис. 3). В нього бета-частинки проникають через спеціальне слюдяне віконце завтовшки 0,01 мм в торці лічильника.

Гама-проміння само не іонізує середовище, але при взаємодії з речовиною (внаслідок фотоелектру, комптон-електру та народження пар електрон-позитрон) утворює так звані вторинні електрони, які услід іонізують середовище. Попадаючи на металеву стінку лічильника, гама-фотони утворюють вторинні електрони, і коли їх пробіг більший або дорівнює товщині стінки, вони проникають у лічильник і реєструються. Отже, гама-лічильник реєструє не самі гама-фотони, а вирвані ними електрони. Ці електрони становлять лише 1-3% від усіх гама-фотонів, що попадають на лічильник. Це число називають ефективністю лічильника.

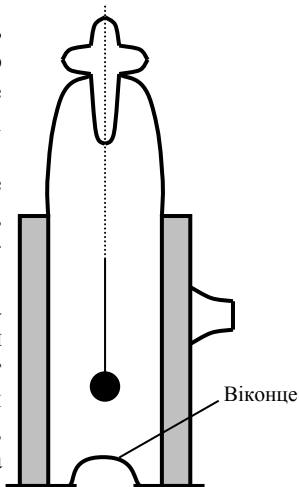


Рис. 3

Гама-лічильник, стінка якого (катод) зроблена з важкого металу і з більшим атомним номером при товщині стінки, яка дорівнює нормальному пробігу вторинних електронів, має більшу ефективність.

Гама-лічильник типу АМА, АММ – це самогасні лічильники. катод приготують у вигляді скляного циліндра з товщиною стінки 1 мм вкритого всередині графітовим провідним лаком (аквадагом) або міддю, анодом служить вольфрамова нитка. Скляні гама-лічильники можна використовувати також для реєстрації бета-частинок значної енергії, більшої ніж 1,7 МеВ.

Альфа-частинки мають дуже малу проникну здатність: вони, наприклад, не проникають у торцевий лічильник для бета-частинок, де слюдяне віконце має товщину 0,01 мм. У торцевих лічильниках для альфа-частинок використовують слюдяне віконце, завтовшки 5 мкм. Для рахунку альфа-частинок використовують також пропорційні лічильники.

В цьому лабораторному завданні необхідно вивчити роботу лічильників за допомогою радіометричної установки Б-4 та свинцевого домика ДС.

Вказівки до роботи

Блок-схема радіометра Б-4 складається з блока газових лічильників (БГС-2), перерахункового пристрою ПП-9М з вхідним обладнанням і блоком живлення. Сигнали з блока газових лічильників (БГС-2) поступають на вхідний пристрій, який служить для перетворення сигналів в стандартні по амплітуді і протилежності від'ємні імпульси. Сформовані вхідним пристроєм імпульси поступають на

перерахунковий механізм установки Б-4 або на додатковий прилад ПП-9М.

Керування роботою приладів здійснюється вручну кнопками "Пуск" і "Стоп". Керують приладом при лічбі сигналів, які поступають на "Вход". Кнопка "Сброс" призначена для установки показів всіх лічильних декад на "0" перед наступним виміром.

1. При роботі з установкою Б-4

Перемикачі "Сеть" і "Пуск", розміщені на передній панелі приладу, встановлюють в положення "Выкл", стрілки електромеханічного лічильника встановлюють на нуль, ручку "Рег. напряжения" перемикають в крайнє ліве положення. Вмикають прилад в електромережу, ставлять тумблер сітки на "вкл." і прогрівають прилад 5-10 хв.

2. При роботі з приладом ПП-9М

При роботі з перерахунковим приладом ПП-9М сигнали з БГС-2 після перетворення подають на вхід приладу (вхідний шнур від ПП-9М підключають до клем "входами" на установці Б-4) червоний провід до клем "+". Встановлюють перемикач "ИЗМЕРЕНИЕ" в положення "ИМПУЛЬСОВ". Вибирають необхідне значення експозиції (в роботі рекомендується брати 10 сек.). Поставити тумблер "УПРАВЛЕНИЕ" в положення "АВТОМ.", а "ГЕНЕРАТОР" в положення "ВНУТР.". Перемикач подільника вхідної напруги поставити в положення "0,3". Ручку плавної підстройки поставити в положення "4". Вмикають прилад в електромережу. Натиснути кнопку "СБРОС", потім "ПУСК". При цьому загоряється лампочка "СЧЕТ" і на цифровому індикаторі висвічується число кількості імпульсів в динамічному режимі. Після закінчення часу експозиції (по секундоміру 10 сек.) натиснути кнопку "СТОП", лампочка "СЧЕТ" гасне, рахунок припиняється. Записати число набраних імпульсів. Для повторного вимірювання необхідно послідовно натиснути кнопку "СБРОС" і "ПУСК". При виконанні роботи з ПП-9М користуються регулятором напруги радіометра Б-4, як було вказано вище, а перерахунковий механізм радіометра рекомендується не включати (перемикачі "ПУСК"- "ВЫКЛ." повинен бути в положенні "ВЫКЛ."). Після закінчення вимірювання треба ручкою "РЕГ. НАПР." і кнопкою "ЗАМЫКАНИЕ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ" зняти напругу з лічильника.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити будову лічильників, установку Б-4 та свинцевого домика за заводською інструкцією.

2. Поступово збільшуючи напругу потенціометром „Плавно”, встановити напругу U_3 , що відповідає початку реєстрації радіоактивного випромінювання (~ 100 В). Напруга на лічильнику встановлюється повільно, тому її значення по шкалі приладу треба

знімати після відлічування імпульсів. Напрягу змінювати через кожні 25 В.

3. Лічбу імпульсів проводити за інтервал часу 100 с. При кожному значенні напруги зробити не менше 5 вимірювань кількості імпульсів та брати середнє значення.

4. Побудувати лічильну характеристику лічильника $N = f(U)$, імп/хв та визначити протяжність плато. Протяжність плато потрібно визначати так, щоб його нахил не перевищував 0,15 %/В. Вимірювання провести з лічильником для β -випромінювання. Порівняти результати з паспортними даними.

5. Встановити на лічильнику робочу напругу, яка визначається співвідношенням $U_p = U_2 + \frac{1}{3}(U_3 - U_2)$ і без джерела радіоактивного випромінювання виміряти швидкість лічби імпульсів або фон лічильника.

6. Описати технічні властивості та характеристики досліджуваних лічильників.

7. Оцінити похибку вимірювань.

Контрольні запитання

1. З'ясувати принцип дії лічильника Гейгера-Мюллера.
2. Вказати технічні характеристики лічильника.
3. Які переваги мають галогенні лічильники порівняно з спиртовими?
4. Наведіть приклади використання лічильників Гейгера-Мюллера в науці.
5. Чому плато лічильника має невеликий нахил?
6. Які лічильники називаються самогасними?

Лабораторна робота № 19

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОБІГУ АЛЬФА-ЧАСТИНОК ЗА ДОПОМОГОЮ СЦИНТИЛЯЦІЙНОГО ЛІЧИЛЬНИКА

Мета: Визначити за допомогою приладів проникну здатність альфа-частинок, визначити їх пробіг та середню енергію.

Прилади і матеріали: установка "ТИСС" з блоком "ТЗ", секундомір, альфа-препарат 2П9-51 (плутоній-239).

Правила техніки безпеки

1. Установка "ТИСС" включається в мережу змінного струму напругою 220 В, яка небезпечна для життя; в ній на фотопомножувачі використовується напруга 1200-1800 В, яка ще більш небезпечна. Тому включати установку під електричну напругу дозволяється лише в присутності керівника занять або лаборанта.

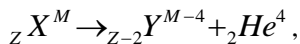
2. Установка "ТИСС" повинна бути заземлена.

3. Категорично забороняється залишати установку під напругою, виходячи на перерву.

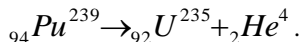
4. Студенту забороняється проводити будь-які ремонтні операції в уряді.

Теоретичні відомості

Альфа-розпад є одним з процесів перетворення атомних ядер. Явище альфа-розпаду полягає у випромінюванні ядрами, головним чином, важких елементів, ядер атому гелію ${}^4_2\text{He}$. Реакція внутріядерного перетворення може бути записана так:



де M – масове число, Z – заряд ядра (виражений через елементарний заряд). Прикладом альфа-розпаду може бути перетворення плутонію в уран:



Завдяки великій масі (маса альфа-частинок більша за масу електрона майже в 8000 разів), альфа-частинкам властива прямолінійність руху. При своєму русі, вона витрачає енергію на іонізацію середовища, і тому гальмується. При цьому вона звичайно приєднує до себе два електрони і перетворюється в нейтральний атом.

Шлях, який проходить альфа-частинка в даному середовищі, називається пробігом. Він залежить від початкової енергії альфа-частинок, тому є важливою характеристикою альфа-препарату.

Для більшості альфа-препаратів властива моноенергетичність – вони випромінюють альфа-частинки з однаковою енергією. Тому, для даного препарату існує цілком певна величина пробігу альфа-частинок. Між енергією і пробігом альфа-частинок існує такий зв'язок:

$$R = k_1 E^{\frac{3}{2}},$$

(1)

де R – величина пробігу в сантиметрах, k_1 – коефіцієнт пропорційності (для повітря $k = 0,318 \text{ см/МеВ}^{3/2}$), E – енергія альфа-частинки в МеВ. Іноді пробіг виражають в залежності від початкової швидкості випромінюваної альфа-частинки:

$$R = k_2 v_0^3,$$

(2)

де R – пробіг альфа-частинки в метрах, k_2 – коефіцієнт пропорційності,

$$k_2 = 9,6 \cdot 10^{-24} \frac{\text{М}}{(\text{м/с})^3}, \quad v_0 - \text{початкова швидкість в м/с. Значення}$$

швидкості альфа-частинки дозволяє визначити її енергію та іонізуючу здатність.

$$I_c = \frac{dE}{dX} = \frac{md}{3v},$$

(3)

де I_c – зміна енергії альфа-частинки на одиницю довжини, шляху, $m = 6.598 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ – маса α -частинки, $d = 1.08 \cdot 10^{27}$ – стала, v – швидкість α -частинки.

Таким чином, визначення пробігу альфа-частинки дозволяє знайти її важливі характеристики: енергію, швидкість, іонізуючу здатність. За енергією випромінювання альфа-частинки судять про енергетичні рівні ядер.

В роботі пробіг альфа-частинки визначається за допомогою скінтіляційного лічильника. Принцип лічби альфа-частинок за допомогою скінтіляцій (спалахів), які вони утворюють, падаючи на екран з сірчистого цинку ZnS, був запропонований Круксом в 1904 р. у вигляді спітарископа. Проте, візуальне проведення рахунку в останньому приводило до стомлення спостерігача, дозволяло рахунок лише малих потоків альфа-частинок. З цих причин спітарископ зберіг своє значення лише як учбовий прилад. Скінтіляційний метод лічби альфа-частинок істотно удосконалений завдяки використанню електронних приладів, так званих електронних помножувачів, запропонованих у 1934 році вченим Л. Кубоцьким.

Опис установки та підготовка її до роботи

Сучасний скінтіляційний лічильник складається з таких основних частин: світловоду, скінтілятора, фотоелектронного помножувача.

Фото-помножувач поєднує в собі фотоелемент і підсилювач. Він складається з фотокатода, фокусуємого електрода в вигляді пластинки з круглим отвором і системи емітерів. Під дією альфа-частинок атоми

сцинтилятору випромінюють фотони, останні попадаючи на фотокатод, зумовлюють вихід з нього електронів. Ці електрони під дією електричного поля між фотокатодом і першим емітером прискорюються і зумовлюють вихід з останнього більшої кількості електронів; далі, завдяки електричній напрузі між цим емітером і наступним, електрони знову прискорюються і зумовлюють ще більший вихід електронів з наступного емітера і т.д. Так відбувається підсилення початкового імпульсу. Загальне підсилення фото-помножувача рівне:

$$b = \sigma^n,$$

де σ – коефіцієнт розмноження електронів одним емітером, n – загальна кількість емітерів.

При накладанні різниці потенціалів між сусідніми емітерами по 100 В при σ рівному 4, фотопомножувача ФЕУ-19, що має 13 емітерів, одержуємо:

$$b = 4^{13}.$$

Струм на виході фото-помножувача, ще трохи підсилений, викликає на навантажуючому опорі імпульс напруги, яка вже фіксується реєструючи пристроєм.

Сцинтиляційні лічильники мають велику чутливість і роздільну здатність, завдяки чому дістали поширення в ядерній фізиці. В роботі для визначення пробігу альфа-частинки використовуються універсальний радіометр "ТИСС". Він складається з основного блоку ТЗ та трьох допоміжних блоків ТИ, ТЮ, ТЧ, які призначені для вимірювання відповідно α , β , γ -випромінювань.

Для визначення пробігу альфа-частинок 125 використовується блок ТЗ і блок ТИ, які з'єднані між собою за допомогою кабелю. Блок ТИ являє собою описаний вище сцинтиляційний лічильник, змонтований у циліндричному корпусі. Для захисту від попадання світла на фотопомножувач вхідне вікно блока ТИ, закрите алюмінієвою фольгою, товщиною 10 мкм. Блок ТИ встановлюється на вертикальному штативі. Альфа-препарат розміщується під віконцем лічильника на невеликому столику з мікрометричною подачею.

Імпульс напруги з блоку ТИ подається на блок ТЗ, нормалізатор призначення якого полягає в наданні імпульсам однакової форми. Імпульси з нормалізатора попадають на ламповий вольтметр і механічний лічильник. Лічильник показує загальну кількість імпульсів, відлічених за даний проміжок часу, а ламповим вольтметр, завдяки наявності інтегруючого коду – середню швидкість лічби.

На нормалізатор можна також подавати з генератора перевірки. В цьому випадку блок ТИ виключається тумблером "робота-перевірка"; імпульси з нормалізатора можна подати на сигнальний пристрій, який виявляє перебільшення заданого рівня радіоактивності.

Керування приладом виконується за допомогою ручок керування,

що розміщуються на передній і задній панелі блока ТЗ. Перед використанням приладу необхідно перевірити положення ручок керування приладом та встановити їх в необхідне положення, а саме: на передній панелі блока ТЗ тумблер "сеть" – в положення "выкл", механічний лічильник – в положення "выкл", перемикач діапазонів – в положення "Зт", тумблер "установка нуля-работа" – в положення "работа". Стрілки механічного лічильника повинні зайняти нульові положення; на задній стороні блока ТЗ встановити "регулятор чувствительности" в крайнє ліве положення, тумблер "регулятор высокое напряжение" – в крайнє ліве положення, регулятор "компенсация фона" – в положення "ручная".

Для підготовки приладу до роботи необхідно включити тумблер "сеть", прогріти прилад на протязі 5-10 хв. На столик під вікном блока ТИ розміщується альфа-препарат.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити призначення ручок керування приладом та підготувати його до роботи.

2. Визначити фон, фоном називається кількість імпульсів, які рахує установка без дії на лічильник альфа-препарату. Фон визначається шляхом фіксування імпульсів на протязі 3 хв. Після чого знаходять швидкість лічби n_{ϕ} (імп./хв.).

3. Дослідити проникну здатність альфа-частинок. Для цього встановити альфа-препарат на столик на віддалі 4 см від вхідного вікна лічильника. Включити механічний лічильник і визначити швидкість лічби. Услід за цим накладати листочки цигаркового паперу на препарат і вимірювати швидкість лічби. Виключити лічильник. Зробити висновок і обґрунтувати його.

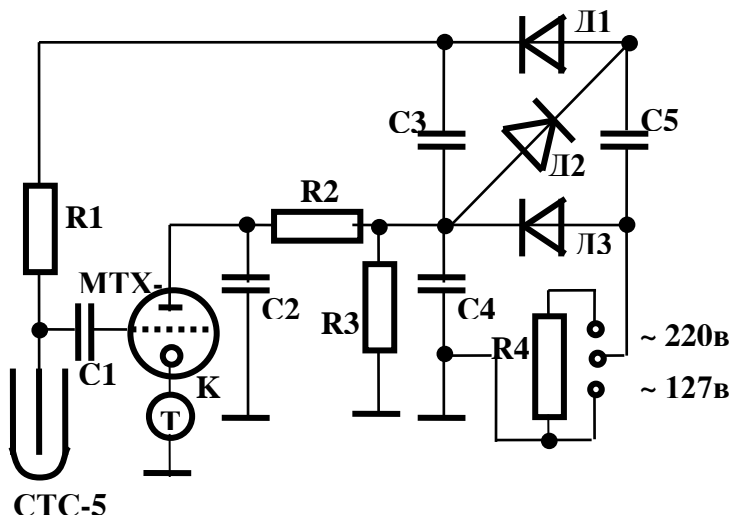
4. Вивчити дію на сцинтиляційний лічильник α і β випромінювання, накладаючи на препарат листочки паперу, алюмінію, свинцю. Зробити висновок.

5. Визначити пробіг альфа-частинок в повітрі. Для цього встановити альфа-препарат на віддалі 3 см від вхідного вікна лічильника. Визначити швидкість лічби. Пересуваючи столик з препаратом далі від вікна через кожні 0,3 см визначити швидкість лічби. Для нього, як і раніше, треба виміряти кількість імпульсів за 3 хв. і визначити n^* . Дослідження проводити до тих пір, поки швидкість лічби не стане рівною фону. За отриманими даними побудувати графік $\ln n = f(x)$. Екстраполюючи графік (метод найменших квадратів), тобто продовжуючи його в тій же закономірності до перетину з віссю абсцис, знайти значення пробігу альфа-частинок. Для остаточного визначення пробігу альфа-частинок треба врахувати товщину алюмінієвої фольги, що прикриває вхідне вікно блока ТИ (10 мкм алюмінію еквівалентно 2,1 см повітря).

6. Визначити за допомогою графіка $\ln n = f(x)$ енергію альфа-частинок і початкову швидкість альфа-частинки даного препарату за формулами (1), (2).

7. Визначити іонізаційну здатність альфа-частинки та загальну кількість пар іонів, які вона здатна утворити в повітрі (прийняти середню роботу однократної іонізації молекул повітря – 14 еВ).

Принципова схема демонстраційного індикатора іонізуючих випромінювань:



Контрольні запитання

1. Поясніть дискретність енергетичного спектра α - випромінювання.
2. Поясніть механізм втрати енергії α -частинкою при русі у різних середовищах.
3. Яка особливість реєстрації α -випромінювання у порівнянні з β - і γ -випромінюванням.?
4. Чому траєкторії α -частинок у повітрі прямолінійні?
5. Принцип роботи сцинтиляційного лічильника.
6. Чим пояснюється виникнення сцинтиляцій у люмінесціюючих речовинах?
7. Яке призначення окремих елементів ФЕП (фотокатада, фокусууючого електрода, емітерів, анода)?

Лабораторна робота №20 ВИВЧЕННЯ ОСНОВ ЯВИЩА ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ

Прилади і матеріали: електронний осцилограф ЛІ-1; два фотопомножувачі фЗУ-29; високовольтні випрямлячі ВСВ 2; магазин опорів; батарея ємностей; освітлювач ОИ-18; електрична лампа 6,3 В; регулятор напруги РНШ-250; електричний двигун СД-09М; скляна пластинка з люмінофором; набір світлофільтрів.

Теоретичні відомості та опис приладів

Для генерування випромінювання в оптичному діапазоні використовується явище люмінесценції. Люмінесцентне свічення речовини збуджується за рахунок будь-якого виду енергії, крім внутрішньої. Під дією світла, рентгенівського випромінювання, потоків різноманітних частинок, хімічних реакцій, електричного струму та інших збудників теплова рівновага порушується і частинки речовини переводяться з нижніх енергетичних станів у верхні. Внаслідок цього на деяких збуджених рівнях енергії нагромаджується більша, порівняно з рівноважним станом, кількість частинок. Тому поряд з тепловим випромінюванням з'являється додаткове свічення (надлишкове над тепловим) – люмінесценція.

Згідно з означенням С.І. Вавілова, *люмінесценція* є свічення тіла, надлишкове над тепловим того ж самого тіла в даній області спектра, при даній температурі, якщо це випромінювання має скінчену тривалість (тобто не припиняється відразу після усунення причини, яка його викликала), що значно перевищує період світлових коливань. Відмінність між тепловим випромінюванням і люмінесценцією полягає в тому, що енергія, поглинута речовиною, іде не на збільшення внутрішньої енергії, а на збільшення потенціальної енергії, яка, не переходячи у теплові коливання атомів, частково або повністю випускається. Речовина, що поглинає енергію, не взаємодіє або слабо взаємодіє з навколишнім середовищем.

Після припинення дії зовнішнього збудника люмінесценція згасає протягом деякого часу свічення; люмінесценцію умовно поділяють на *флуоресценцію* ($\tau < 10^{-8}$ с) та *фосфоресценцію* ($\tau > 10^{-8}$ с). Ця характеристика люмінесценції саме і відрізняє її від відбивання, розсіяння світла, гальмівного свічення заряджених частинок, вимушеного випускання.

Вивчення люмінесценції дає змогу дістати значну інформацію про структуру твердих тіл, розподіл випускаючих центрів у кристалічній решітці, властивості молекулярних зв'язків, здійснити якісний та кількісний хімічний аналізи. Найбільшого поширення в науці і техніці набула *фотолюмінесценція*. Для її характеристики користуються

поняттями спектра збудження і спектра люмінесценції. За основним законом фотолюмінесценції – законом Стокса-Ломмеля – спектр випромінювання люмінофорів та його максимум зсунуті порівняно із спектром збудження та його максимумом у сторону довгих хвиль. З цього випливає, що випромінювання у видимій частині оптичного спектра можна дістати, опромінюючи люмінофори ультрафіолетовим випромінюванням. Спектри збудження і спектри люмінесценції є дзеркальносиметричними відносно прямої, що проходить перпендикулярно до осі частоти через точки перетину кривих обох спектрів. Дослідження цих спектрів показали, що дзеркальна симетрія їх існує для молекул з однаковою будовою систем енергетичних рівнів нормального та збудженого станів. Відповідно відхилення від симетричного розташування спектрів свідчить про характер відхилень у структурі енергетичних рівнів та ймовірностей переходів між ними.

Для кількісної характеристики явища люмінесценції введено поняття квантового та енергетичного виходів. *Квантовий вихід* визначається відношенням кількості N_l фотонів, які випускаються речовиною, до загальної кількості поглинутих N_n фотонів за той самий проміжок часу і при незмінних зовнішніх умовах:

$$\eta_{кв} = \frac{N_l}{N_n}. \quad (1)$$

Квантовий вихід істотно залежить від частоти падаючих квантів і може набувати значень, більших і менших одиниці.

Енергетичний вихід люмінесценції визначається відношенням потужності люмінесцентного випромінювання до потужності падаючого випромінювання:

$$\eta_e = \frac{E_l}{E_n}. \quad (2)$$

Припускаючи, що спектр випромінювання не залежить від частот падаючого світла, дістанемо з (1) і (2)

$$\eta_e = \frac{N_l h\nu_l}{N_n h\nu_n} = \eta_{кв} \frac{\nu_l}{\nu_n}.$$

У переважній більшості випадків використання явища люмінесценції збудження молекул та випускання ними випромінювання відбувається незалежно одне від одного. У зв'язку з цим встановлюється закон згасання люмінесцентного світіння з часом при умові спонтанного світіння:

$$I = I_0 \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right),$$

де I – інтенсивність випромінювання в довільний момент часу; I_0 –

інтенсивність випромінювання у початковий ($t = 0$) момент часу; τ – час збудженого стану молекули люмінофора. Експериментально τ можна визначити із графічної залежності $\ln I$ від t за тангенсом кута нахилу прямої до осі часу. Установка для визначення τ складається за схемою **Рис. 1**. До неї входять блоки освітлення та реєстрації. Блок освітлення змонтовано всередині захисного металевого кожуха. В ньому знаходяться: освітлювач ОИ-18 з ртутною лампою, електродвигун, на осі якого закріплено диск D з чотирма отворами, лампа розжарювання та регулятор напруги РНШ-250. Реєструючий блок складається з двох фотопомножувачів $1, 2$, живлення яких здійснюється від випрямлячів ВСВ-2; електронного осцилографа С1-1, магазину опорів R , батареї конденсаторів C . Якщо привести в обертання диск D , то світловий потік від ртутної лампи через отвори у диску буде періодично потрапляти через фільтр $\Phi 1$ на люмінофор $ЛФ$. Фільтр $\Phi 2$ виділяє ультрафіолетову частину спектра ртутної лампи, а фільтр $\Phi 1$ пропускає лише люмінесцентне випромінювання люмінофора. При попаданні люмінесцентного випромінювання на фотокатод ФЭУ (1) у ньому виникає струм i_1 пропорційний інтенсивності світіння:

Струм фотопомножувача ФЭУ (1) створює на опорі R_1 спад напруги U_1 :

$$U_1 = k_1 I R_1 = k_1 I_0 R_1 \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right),$$

$$U_1 = U_{01} \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right), \quad (3)$$

де U_0 – спад напруги в початковий момент часу. Напруга U_1 подається на вертикально відхиляючі пластини осцилографа. Для синхронної розгортки напруги U_1 в часі використовується друга частина реєструючого блоку. При обертанні диска через симетрично розташовані отвори на фотопомножувач одночасно із світловим потоком від ртутної лампи падає потік світла від розжарювальної лампи. Він викликає у ФЭУ струм, який заряджає конденсатор C . Після перекриття світлового потоку конденсатор починає розряджатись через опір R_2 . На опорі створюється спад напруги, що змінюється за певним законом:

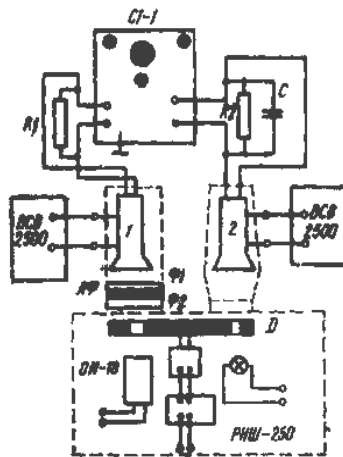


Рис. 1

$$U_2 = U_{02} \exp\left(\frac{-t}{RC}\right). \quad (4)$$

Ця напруга подається на горизонтально відхиляючі пластини осцилографа. Виключивши з рівнянь (3) і (4) параметр t , дістанемо рівняння кривої затухання люмінесценції, зображеної на екрані осцилографа:

$$U_1 = U_{01} \exp\left(\frac{R_2 C}{\tau} \ln \frac{U_2}{U_{01}}\right) = U_{01} \left(\exp\left(\ln \frac{U_2}{U_{01}}\right)\right)^{\frac{R_2 C}{\tau}} = U_{01} \left(\frac{U_2}{U_{02}}\right)^{\frac{R_2 C}{\tau}}$$

Якщо задовольнити умову

$$R_2 C = \tau, \quad (5)$$

то дістанемо рівняння прямої

$$U_1 = U_{01} \left(\frac{U_2}{U_{02}}\right) = k_2 U_2.$$

Отже, для даного люмінофора визначення часу збудженого стану зводиться до виконання умови (5).

Порядок виконання роботи

1. Зібрати установку згідно з схемою **Рис. 1**. Перевіритись, чи надійно заземлені прилади.

2. Увімкнути осцилограф. Перемикач діапазону частот розгортки поставити в положення «Вykl».

3. Увімкнути регулятор напруги РНШ-250; подавши напругу 150-200 В на двигун, перевіритись у рівномірному обертанні диска.

4. Подати напругу живлення на фотопомножувачі від випрямлячів ВСВ-2. При вмиканні високої напруги на панелі випрямляча спалахне червона лампочка. Потрібне значення напруги треба встановити поступово, спочатку перемикачем «Грубо», а потім – «Плавно».

5. Підбираючи значення опору R_2 та ємності C за допомогою магазину та батареї, дістати на екрані осцилографа пряму, яка перетинає перший та третій квадранти. Зафіксувати значення R і C та за формулою (5) обчислити τ .

Контрольні запитання і завдання

1. Що таке люмінесценція та якими методами вона викликається?
2. Поясніть межі зміни значень квантового виходу люмінесценції,
3. Сформулюйте основні закони люмінесцентного світіння.
4. Як пов'язаний час збудженого стану із властивостями люмінофора та зовнішніми умовами?

Таблиця 1. Коефіцієнти Стьюдента t_{ak} .

k	a								
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
2	0,16	0,33	0,73	1,38	3,08	6,31	12,70	31,80	63,70
3	0,14	0,29	0,62	1,06	1,89	2,92	4,30	6,96	9,92
4	0,14	0,28	0,58	0,98	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84
5	0,13	0,27	0,57	0,94	1,53	2,13	2,78	3,75	4,60
6	0,13	0,27	0,56	0,92	1,48	2,02	2,57	3,36	4,03
7	0,13	0,27	0,55	0,90	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71
8	0,13	0,26	0,54	0,90	1,42	1,89	2,36	3,00	3,50
9	0,13	0,26	0,54	0,90	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36
10	0,13	0,26	0,54	0,88	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25
12	0,13	0,26	0,54	0,87	1,36	1,80	2,20	2,72	3,11
14	0,13	0,26	0,54	0,87	1,35	1,77	2,16	2,65	3,01
16	0,13	0,26	0,54	0,87	1,34	1,75	2,13	2,60	2,95
18	0,13	0,26	0,53	0,86	1,33	1,74	2,11	2,57	2,90
20	0,13	0,26	0,53	0,86	1,33	1,73	2,09	2,54	2,86
25	0,13	0,26	0,53	0,86	1,32	1,71	2,06	2,49	2,80
30	0,13	0,26	0,53	0,85	1,31	1,70	2,05	2,56	2,75
35	0,13	0,26	0,53	0,85	1,31	1,69	2,04	2,45	2,73
40	0,13	0,26	0,53	0,85	1,30	1,68	2,02	2,42	2,70

Таблиця 2. Кількість вимірювань, що потрібна для того,

щоб мати випадкову похибку $\gamma = \frac{\Delta x}{S}$ з надійністю α

$\gamma = \frac{\Delta x}{S}$	α				
	0,5	0,7	0,9	0,95	0,99
1,0	2	3	5	7	11
0,5	3	6	13	18	31
0,4	4	8	19	27	46
0,3	6	13	32	46	78
0,2	13	29	70	99	171

Таблиця 3. Фундаментальні фізичні константи

Константа	Позначення	Числове значення	Відносне середнє квадратичне відхилення 10^{-6}
Швидкість світла у вакуумі	c	299 792 458 м . с ⁻¹	
Магнітна стала	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} = 12,566370614 \cdot 10^{-7}$ Гн.м. ⁻¹	
Електрична стала	$\epsilon_0 = (\mu_0 c^2)^{-1}$	$8,854187817 \cdot 10^{-12}$ ф . м ⁻¹	
Стала Планка	h $h = h/2\pi$	$6,6260755(40) \cdot 10^{-34}$ Дж . с $1,05457266 (63) \cdot 10^{-34}$ Дж . с	0,60 0,60
Маса спокою електрона	m_e	$9,1093897(54) 10^{-34}$ кг $5,48579903 (13) \cdot 10^{-4}$ а. о. м.	0,59 0,023
Маса спокою протона	m_p	$1,6726231 (10) \cdot 10^{-27}$ кг $1,007276470(12)$ а. о. м.	0,59 0,012
Маса спокою нейтрона	m_n	$1,6749286(10) \cdot 10^{-27}$ кг $1,008664904(14)$ а. о. м.	0,59 0,014
Елементарний заряд	e	$1,60217733(49) \cdot 10^{-19}$ Кл	0,30
Відношення заряду електрона до його маси	$-e/m_e$	$-1,75881962(53) \cdot 10^{11}$ Кл.кг ⁻¹	0,30
Атомна одиниця маси	а. о. м.	$1,6605402(10) 10^{-27}$ кг	0,59
Універсальна газова стала	R	$8,314510 (70)$ Дж . моль ⁻¹ . К ⁻¹	8,4
Стала Авогадро	N_A	$6,0221367 (36) \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹	0,59
Стала Фарадея	$F = N_A e$	$96485,309(29)$ Кл моль ⁻¹	0,30
Стала Больцмана	$k = R/N_A$	$1,380658 (12) 10^{-23}$ Дж . К ⁻¹	8,5
Стала Стефана-Больцмана	$\sigma = (\pi^2/60)k^4/h^3c^2$	$5,67051 (19) 10^{-8}$ Вт м ⁻² К ⁻⁴	34
Перша стала випромінювання	$c_1 = 2\pi^5 h c^2$	$3,7417749(22) 10^{-16}$ Вт . м ²	0,60
Друга стала випромінювання	$c_2 = hc/k$	$0.01438769(12)$ м К	8,4

Таблиця 4. Червона границя фото ефекту для деяких речовин, нм

Речовина	λ , нм	Речовина	λ , нм
Барій	484	Платина	190
Барій на вольфрамі	1130	Рубідій	573
Вольфрам	272	Срібло	261
Германій	272	Торій на вольфрамі	473
Закис міді	239	Цезій	662
Нікель	249	Цезій на вольфрамі	909
Оксид барію	1235	Цезій на платині	895

Таблиця 5. Періоди піврозпаду деяких нуклідів

Нуклід	Період піврозпаду, T	Нуклід	Період піврозпаду, T
$^{192}_{77}\text{Ir}$	74,4 дня	$^{45}_{20}\text{Ca}$	153 дні
$^{137}_{55}\text{Cs}$	26,6 року	$^{204}_{81}\text{Te}$	3,56 року
$^{60}_{27}\text{Co}$	5,2 року	$^{239}_{94}\text{Pu}$	$24,39 \cdot 10^8$ років
$^{90}_{38}\text{Sr}$	28,1 року	$^{210}_{84}\text{Po}$	138,4 дня

Література

1. Загальна фізика: Лабораторний практикум / За заг. ред. І.Т. Горбачука. – К.: Вища шк., 1992. – 509с.
2. Булавін Л.А., Тартаковський В.К. Ядерна фізика. – К.: Знання, 2005. – 439с.
3. Яв орський Б.М., Детлаф А.А. Курс фізики. – К.:Вища школа, 1973. – Т.3. – 500с.
4. Кучерук І.М. та ін. Загальна фізика. Оптика і квантова фізика. – К.: Вища шк., 2002. – Ч.3. – 306с.
5. Ахиезер А.И. Атомная физика. – К.: Наукова думка, 1988. – 268с.
6. Кучерук І.М., Дущенко В.П., Андріанов В.М. Обробка результатів фізичних вимірювань. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1981.
7. Сивухин Д.В. Общий курс физики: В 5 т. – М.: Наука, 1989 – прод. – Т. 2: Термодинамика и молекулярная физика. – 1990.
8. Лабораторные занятия по физике / Под. ред. Л.Л. Гольдина. – М.: Наука, 1983.
9. Физический энциклопедический словарь. – М.: Сов. энцикл., 1983.
10. Гершензон Е.М., Малов Н.Н., Эткин В.С. Курс общей физики. Оптика и атомная физика. – М.: Просвещение, 1981.
11. Білий М.У. Атомна фізика. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1973.
12. Вступ до лабораторного практикуму. Методичні поради / Солоненко В.І., Андріанов В.М., Білюк А.І., Яремчук В.Ф. – В.: ВДПУ, 2003. – 32 с.

Список

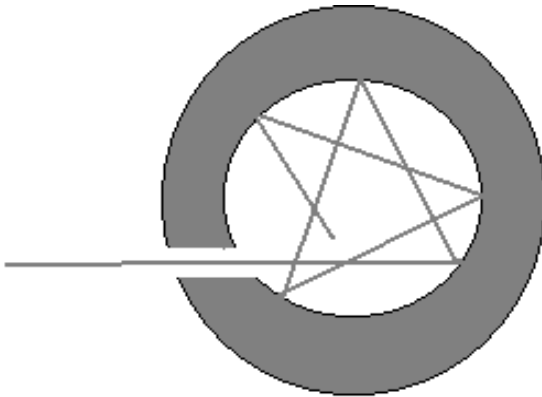
лабораторних робіт з атомної і ядерної фізики

1. Вивчення законів теплового випромінювання. Якісна перевірка закону Кірхгофа	8
2. Вивчення законів теплового випромінювання. Якісна перевірка закону зміщення Віна.....	10
3. Виявлення радіоактивного забруднення поверхні сигналізатором СЗБ2-2ЕМ та вимірювання доз гама-випромінювання.....	12
4. Вивчення явища зовнішнього фотоефекта. Визначення сталої Планка та роботи виходу електронів.....	18
5. Вивчення явища ефекту Комптона і визначення комптонівської довжини хвилі....	22
6. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга для фотонів.....	25
7. Вивчення квантового оптичного генератора (лазера).....	29
8. Вивчення законів теплового випромінювання. Визначення постійних Стефана-Больцмана і Планка.....	33
9. Дослідження заряджених частинок за слідами в камерах Вільсона, Скуряті та Ляпідевського.....	39
10. Дослідження заряджених частинок за їх слідами на фотопластинках.....	43
11. Вивчення випромінювання атома водню і визначення сталої Рідберга.....	46
12. Вивчення статистичних закономірностей на прикладі флуктуацій інтенсивності радіоактивного випромінювання.....	48
13. Вивчення дослідів Франка і Герца.....	54
14. Визначення активності бета-розпаду, мертвого часу і ефективності лічильника...	56
15-16. Радіаційні дослідження за допомогою радіометрів «Прип'ять».....	65
17. Вивчення основ явища люмінесценції.....	73
18. Вивчення поглинання гама-променів у свинці та алюмінії.....	77
19. Вивчення роботи радіометричних установок та лічильників Гейгера-Мюллера.....	80
20. Визначення пробігу альфа-частинки за допомогою сцинтиляційного лічильника...	87
Додатки.....	92
Література.....	95
Зміст.....	97

ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
і.м. М. КОЦЮБІНСЬКОГО
ІНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ, ФІЗИКИ І ТЕХНОЛОГІЧНОЇ
ОСВІТИ
КАФЕДРА ФІЗИКИ

Білюк А.І.

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
АТОМНА І ЯДЕРНА ФІЗИКА (КВАНТОВА ФІЗИКА)



Вінниця – 2011

ББК 22.3
К 95
УДК 53(07)

А.І. Білюк Лабораторний практикум атомної і ядерної фізики. Видання третє перероблене і доповнене. – Вінниця, 2011. – 62с.

Підписано до друку 16.09.09
Формат 60*84/16. Папір офсетний.
Друк офсетний.
Наклад 100 прим.
Гарнітура Times New Roman
Віддруковано в ПП «Едельвейс і К», тел.: (0432) 550-333
м. Вінниця, вул. 600 – річчя, 70

Зам. 4101. Наклад 100.