

10. <http://tehnо-science.ru/nauka-2454.html>;

11. <http://www.chem.msu.su/rus/cryst/cryshist/braggс.htm>;

Анотація. Пивоваров С.С. Відкриття рентгенівського випромінювання і його застосування для дослідження твердих тіл. Рентгенівське випромінювання - електромагнітне випромінювання з довжинами хвиль від 10^{-4}Å до 10^2Å . 1895 році В. К. Рентген вперше спостерігав, невідомі раніше промені, проникаючі через непрозорі перешкоди. Джерела рентгенівських променів - рентгенівські трубки. Існує гальмівне і характеристичне рентгенівське випромінювання. Через свої властивості, має широке застосування у різних сферах діяльності.

Ключові слова: рентгенівське випромінювання, дифракція, рентгенівська трубка.

Аннотация. Пивоваров С.С. Открытие рентгеновского излучения и его применение для исследования твердых тел. Рентгеновское излучение – электромагнитное излучение с длинами волн от 10^{-4}Å к 10^2Å . 1895 году В. К. Рентген впервые наблюдал, неизвестные ранее лучи, проникающие через непрозрачные препятствия. Источники рентгеновских лучей - рентгеновские трубки. Существует тормозное и характеристическое рентгеновское излучение. Из-за своих свойства, имеет широкое применение в различных сферах деятельности.

Ключевые слова: рентгеновское излучение, дифракция, рентгеновская трубка.

Abstract. Brewers SS The discovery of X-rays and its application to the study of solids. X-ray radiation - electromagnetic radiation with wavelengths from 10^{-4}Å to 10^2Å . 1895 VK Roentgen first observed, previously unknown rays penetrate through opaque barriers. Sources of X-rays - X-ray tube. There braking and characteristic X-rays. Because of its properties, is widely used in various fields.

Keywords: X-rays diffraction, X-ray tube.

УДК 47.31

О.Ю. Роєнко

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка

ДЕТЕКТОРИ ЧАСТИНОК У ПРИСКОРЮВАЧАХ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК

В сучасній фізиці високих енергій, фізиці елементарних частинок та процесів, що відбуваються на мікро- рівні найважливішу роль відіграють прилади під назвою прискорювачі заряджених частинок. По мірі розвитку технологій ускладнювалися й прискорювачі, сучасні прискорювальні комплекси мають в своїй будові сотні різноманітних модулів, кожен з яких відповідає за певні функції.

Для того, щоб оцінити результати роботи на прискорювачі, такі як: реєстрація та вивчення певних частинок, визначення складу речовин, перевірка різноманітних фізичних теорій та гіпотез, треба зареєструвати частинки, що виникають при цьому і вивчити їх. Для цього слугують детектори частинок.

Детектори частинок – це пристрої, які служать в основному для реєстрації різноманітних заряджених та незаряджених частинок, для визначення характеристик зареєстрованих частинок. Часто в історії розвитку фізики відбувалося так, що за допомогою детекторів відкривалися все нові й нові частинки із мікросвіту. Детектори грають провідну роль в розвитку та вивченні атомної, ядерної фізики, постійному поглибленню та отриманню більш повних знань про будову матерії, всього Всесвіту загалом.

В даній статті буде розглянуто принципи роботи та межі застосування деяких детекторів частинок.

Черенковський детектор. В основі роботи даного детектора лежить принцип реєстрації випромінювання, названого черенковським, в честь російського вченого П. А. Черенкова. Випромінювання такого типу з'являється тоді, коли й деякому середовищі заряджена частинка рухається з певною швидкістю v , яка в даному середовищі є більшою, ніж швидкість світла u .

$u = \frac{c}{n}$, швидкість світла в середовищі можна визначити за такою формулою, тут c – швидкість світла в вакуумі, n – показник заломлення середовища. Отже, умова виникнення черенковського випромінювання: $v > \frac{c}{n}$.

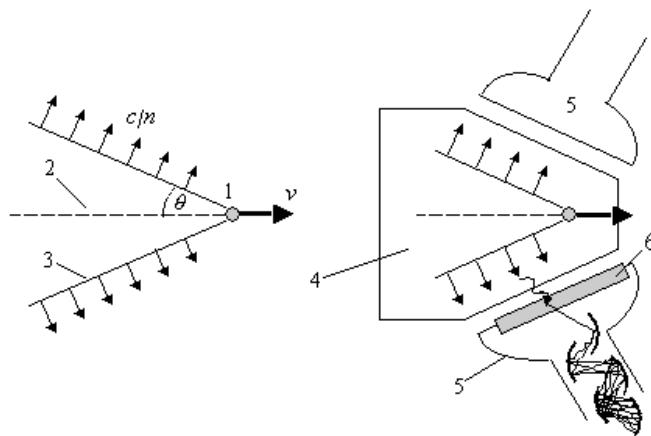


Рис.1. Схема детектора Черенкова [3,279]

1 – елементарна частинка; 2 – траєкторія частинки; 3 – фронт хвилі черенковського випромінювання; 4 – радіатор; 5 – ФСП; 6 – фотокатод.

Черенковське випромінювання являється наслідком когерентного випромінювання диполів, роль яких грають поляризовані атоми, які з'являються в середовищі детектора Черенкова при пролітанні через нього заряджених частинок, які й поляризують атоми. Якщо швидкість пролітання частинки досить мала (менше швидкості світла в даному середовищі) то поляризовані атоми встигають повернутися в напрямку руху частинки. При їх поверненні в початкове положення загальна поляризація середовища буде симетрична відносно траєкторії частинки, а тому випромінювання від

кожного окремого диполя будуть гасити інтенсивність один одного і світіння Черенкова спостерігатися не буде.

Коли ж частинка залітає в середовище детектора з швидкістю, яка для даного середовища більша ніж швидкість світла, то реакція поляризованих диполів являється запізнілою по відношенню до координат частинки, загальна поляризація середовища являється не симетричною відносно положення частинки в цьому випадку, а отже випромінювання диполів буде видимим, не скомпенсованим випромінюванням інших.

Сцинтиляційний детектор. Принцип роботи сцинтиляційних детекторів полягає в тому, що реєстрація елементарної частинки відбувається шляхом потрапляння її на сцинтиляційну речовину, яка детектує частинку у вигляді оптичних сигналів, спалахів, що далі можуть бути або сфотографовані на фотоплівці, або підсилені за допомогою ФЕП та зареєстровані безпосередньо на екрані.

Перший з таких детекторів називався спінтарископом. Це був екран, покритий шаром сцинтиляційної речовини ZnS. При потраплянні на даний екран частинок, відбувалися спалахи, що реєструвалися за допомогою мікроскопа.

Приблизно з 40-х років 20-го століття світлові спалахи від сцинтиляторів почали фіксуватися за допомогою фотоелектричних помножувачів (ФЕП), ще пізніше для цих цілей застосовували навіть світло діоди.

Сцинтилятор може бути органічним (кристали, пластики або рідини) або неорганічним (кристали або скло). Використовуються також газоподібні сцинтилятори. В якості органічних сцинтиляторів часто використовуються антрацен ($C_{14}H_{10}$), ($C_{14}H_{12}$), нафталін ($C_{10}H_8$). Рідкі сцинтилятори зазвичай відомі під фірмовими іменами (наприклад, NE₂₁₃). Пластикові та рідкі сцинтилятори представляють із себе розчини органічних флуоресціюючих речовин в прозорому розчиннику. Наприклад, твердий розчин антрацену в полістиролі або рідкий розчин в кислоті. В якості неорганічних кристалічних сцинтиляторів використовуються ZnS, NaI(Tl), CsI, $Bi_4Ge_3O_{12}$ (BGO) та інші. В якості газових і рідких сцинтиляторів використовують інертні гази (Xe, Kr, Ar, Ne) і N_2 й інші.

Щодо кількості сцинтилюючої речовини в детекторі, то концентрація сцинтиляційної речовини зазвичай доволі мала, більшість об'єму займає певний розчинник. Елементарна частинка спочатку збуджує молекули розчинника, а вже потім енергія даного збудження передається сцинтиляційній речовині, на якій ця подія відзначається спалахами.

Іонізаційна камера. Іонізаційна камера являється одним з найпростіших газонаповнених детекторів. Як правило середовище детектора заповнене газом ($He+Ar$, $Ar+C_2H_2$, Ne). Величину прискорюючої напруги підбирають таким чином, щоб електрони, які виникають при іонізації, долітали до електродів, не встигаючи рекомбінувати.

Іонізаційні камери бувають 2-х типів: інтегруючі та імпульсні. В інтегруючих камерах реєструється сигнал, створений всією множиною частинок, що потрапили до детектора на момент реєстрації, їх середній рівень енерговиділення. Щодо імпульсних іонізаційних камер, то в цьому випадку детектор реєструє імпульс від певної окремої частинки, що викликала іонізацію.

Зазвичай детектори даного типу є трьохелектродними, робочий об'єм знаходиться між катодом та сіткою.

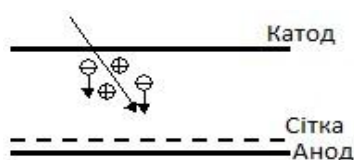


Рис. 2. Схема іонізаційної камери [2,82]

Утворені під час іонізації електрони збираються на аноді за час приблизно $\approx 10^{-6}$ с. Сітка забезпечує не потрапляння на анод позитивно заряджених іонів. Від швидкості, з якою утворені електрони збираються на аноді залежить часовий дозвіл детектора. Його величина рівна приблизно $\approx 10^{-6}$ с. якщо зареєстрована частинка повністю зупинилася в об'ємі детектора, то за величиною енергії, потрібної для утворення однієї пари електрон – іонної пари E (для газу порядку $\approx 30 - 40$ еВ) та кількістю електронів, що досягли анода n , можна легко порахувати енергію зареєстрованої частинки.

Лічильник Гейгера – Мюллера. Лічильник Гейгера – Мюллера фактично повторює своєю конструкцією та принципом роботи розглянуту пропорційну камеру. Винайдено в 1908 р. Х. Гейгером і Е. Резерфордом, пізніше вдосконалений Гейгером і В. Мюллером. Суттєвою відмінністю в ньому є те, що в даному лічильнику появи навіть однієї частинки достатньо для того, щоб запустився процес лавинної іонізації. Конструктивно лічильник Гейгера – Мюллера також майже повторює будову пропорційної камери, являючи собою циліндричний корпус, заповнений інертним газом. Різницею є рівень прикладеної до електродів напруги.

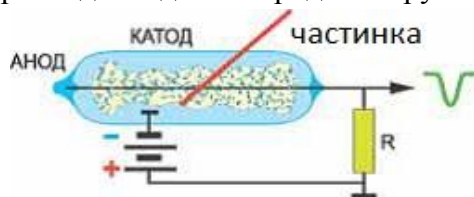


Рис. 3. Схема лічильника Гейгера – Мюллера [2,62]

При появі в об'ємі лічильника хоч би однієї частинки виникає лавинний процес, який здатний іонізувати всю область поблизу нитки – анода. При цьому рівень струму досягає максимального значення і не залежить від первинної енергії частинки, яка сприяла початку лавинного процесу. Отже, даний лічильник не може працювати як спектрометр, його призначення – це здатність зареєструвати заряджену частинку. Коефіцієнт газового підсилення в лічильнику Гейгера – Мюллера може досягати 10^{10} .

Ймовірність реєстрації зарядженої частинки лічильником близька до 100%. Щодо тривалості сигналу, то тут $t \approx 10^{-4}$ с.

Ядерні фотоемульсії. В кінці 40-х років в фізиці широко почав використовуватися метод фотографування реакцій з елементарними частинками на фотопластини. Одним з перших це зробив А. Беккерель, який в 1896 році за допомогою фотопластинок зміг відкрити радіоактивність урану.

На початку 40-х років 20-го століття фізик на ім'я С. Пауелл створив фотопластинки с товстим емульсійним шаром. Це відкриття було нагороджене Нобелівською премією.

Емульсійний шар, якими покривають фотопластинки, являє собою світло – чуткий матеріал, який покривають шаром речовини, до складу якої входять кристалики бромистого срібла AgBr розміром близько 0,3 мкм. Заряджена частинка, яка проходить через таку речовину, іонізує середовище. При іонізації атомів, бромисте срібло розпадається на окремі елементи, які поки що не можна явно побачити. Потім фотопластинку проявляють і на ній стають видимими мілкі частинки срібла, розміри цих зерен срібла близько 1 мкм. Їх можна бачити під мікроскопом, як точки різного розміру.

По цих точках можна побачити треки, сліди частинок. Якщо відстань між деякою послідовністю точок не перевищує 5 мкм, то даний ряд утворює трек певної зареєстрованої частинки. Далі, завдяки аналізу інтенсивності, концентрації точок, рівню відхилення треку від прямолінійного поширення, можна визначити тип частинки.

Камера Вільсона. Камера Вільсона являється ще одним видом трекових детекторів. Була відкрита Ч. Вільсоном в 1912-му році, за що в 1927-му він був нагороджений Нобелівською премією. В даному детекторі треки заряджених частинок стають видимими завдяки конденсації перенасиченої пари на іонах газу, утворених зарядженою часткою. На іонах утворюються краплі рідини, які виростають до розмірів достатніх для спостереження (10^{-3} - 10^{-4} см) і фотографування при нормальному освітленні. Просторове розширення камери Вільсона складає величину близько ≈ 0.3 мм. Робочим середовищем частіше за все є суміш парів води і спирту під тиском 0.1 - 2 атмосфери (водяний пар конденсується здебільшого на негативних іонах, пари спирту - на позитивних). Перенасичення досягається швидким зменшенням тиску за рахунок розширення робочого об'єму.

Час чутливості камери, протягом якого перенасичення залишається достатнім для конденсації на іонах, змінюється від 0,1 до декількох секунд. Після цього необхідна очистка робочого об'єму камери та відновлення її чутливості. Час, який займає дана послідовність операцій – від реєстрації частинки, очистки об'єму та здатності до нової реєстрації складає $t > 1$ хвилини.

Якщо помістити камеру Вільсона в магнітне поле, то завдяки відхиленню частинок від можна визначити її імпульс та знак заряду.

Слід згадати, що фізик на ім'я П. Блекетт удосконалив камеру Вільсона таким чином, щоб вона могла реагувати лише на потрібні досліднику події, за що був нагороджений Нобелівською премією.

Саме за допомогою камери Вільсона в 1932 р. К. Андерсон відкрив позитрон.

Мікростріпові детектори. Ще одним різновидом координатних детекторів, що дають змогу визначити положення в просторі зареєстрованої частинки є мікростріпові детектори. Їхньою відмінністю від інших розглянутих координатних детекторів є те, що вони дають змогу визначити координати частинок дуже точно.

Вони являють собою пластини монокристала кремнію, на одну з поверхонь яких наносяться тонкі електроди (стріпи), віддалені один від одного на відстані близько ≈ 20 мкм, а інша поверхня покривається металевим шаром.

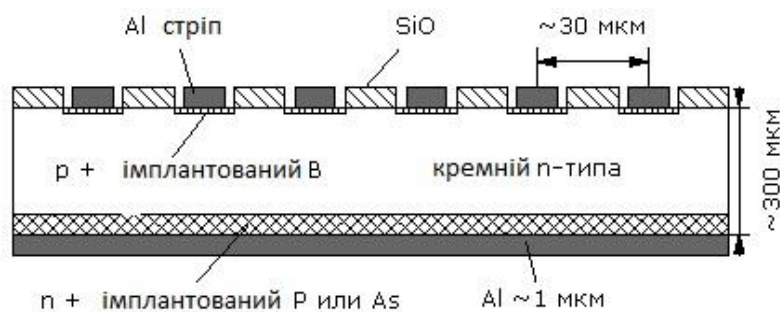


Рис. 4. Будова мікροстріпового детектора [3,241]

На електроди подається напруга кілька вольт. Електронно – діркові пари, утворені зарядженою частинкою в кристалі, рухаються до найближчих електродів і реєструються у вигляді імпульсів струму. Просторове розділення мікροстріпового детектору поступається тільки ядерним емульсіям і досягає 10 мкм.

Роль детекторів в розвитку сучасної фізики, фізики високих енергій важко переоцінити, завдяки ним було зроблено масу важливих відкриттів, багато вчених за свої відкриття на детекторах частинок отримали Нобелівські премії.

Література

1. Брук Г. Циклические ускорители заряженных частиц. – М.: Атомиздат, 1970. – 313 с.
2. Григорьев В. А. Газоразрядные детекторы элементарных частиц: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2011. – 114 с.
3. Группен К. Детекторы элементарных частиц: Справочное издание. – Новосибирск: «Сибирский хронограф», 1999. – 408 с.

Анотація. Роечко О. Ю. Детектори частинок. В статті розглянуто деякі види детекторів частинок, принцип їх роботи, згадано деякі методи визначення характеристик зареєстрованих частинок за допомогою аналізу зареєстрованого сигналу.

Ключові слова: детектор, частинки, іонізація, випромінювання.

Аннотация. Роечко А. Ю. Детекторы частиц. В статье рассмотрены некоторые виды детекторов частиц, принцип их работы, упомянуто некоторые методы определения характеристик зарегистрированных частиц с помощью анализа зарегистрированного сигнала.

Ключевые слова: детектор, частицы, ионизация, излучение.

Abstract. Royenko O.Y. detectors particles. The article deals with some types of detectors of particles, how they work, some of the methods mentioned characterization of particles registered by analysis of the registered signal.

Keywords: detector, particle, ionization, radiation.