ПРИСКОРЮВАЧІ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК: ІСТОРИЧНИЙ РАКУРС

Попцова Карина Віталіївна
здобувач вищої освіти 2 курсу ОС «Бакалавр»
освітньо-професійна програма: «Середня освіта (Фізика)»
Житомирський державний університет імені Івана Франка

Семенець Лариса Миколаївна
кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики та охорони праці
Житомирський державний університет імені Івана Франка

Прискорювачі заряджених частинок використовується майже у всіх галузях фізики – від елементарних частинок до твердого тіла. Прискорювачі - пристрої для прискорення заряджених частинок. Основним принципом роботи прискорювачів є взаємодія заряджених частинок із електромагнітними полями. Згідно типу частинок виділяють прискорювачі: легких частинок (електронів, позитронів), проміжних частинок (мезонів), прискорювачі важких частинок (протонів), прискорювачі йонів, прискорювачі античастинок (антипротонів).

Другий тип - циклічні прискорювачі за принципом конструкції та траєкторією руху виокремлюють лінійні прискорювачі. Це прискорювачі, в яких заряджені частинки рухаються по лінійній траєкторії, прискорення відбувається по всій довжині прискорювача. Їх виділяють такі види: високовольтний, індукційний, резонансний, лінійний колайдер, циклотрон, синхротрон, фазотрон, мікротрон, синхрофазотрон, колайдер.

Поштовхом для розвитку прискорювачів заряджених частинок послужили дослідження будови ядра, що вимагали потоків заряджених частинок високої енергії.

Перша історична довідка дослідження прослідковується в кінці минулого століття. Показано природний прогрес від атомної фізики до ядерної фізики та неминучу потребу в «атомних снарядах» вищої енергії та більш високої інтенсивності ніж ті, що надаються природними радіоактивними джерелами. Прискорювач частинок був запланованим розробленням, метою якого було здійснення розщеплення атома з допомогою людини. Цю потребу на початку двадцятих років зрозумів Ернест Резерфорд, але електростатичні машини, які в той час існували, вони були далекі від досягнення необхідної напруги і протягом кількох не було ніякого прогресу.

У 1928 році ситуація змінилася. Рональд Герні і Джордж Гамов незалежно передбачили тунелювання і виявилося, що енергії 500кеВ може вистачити, щоб розчепити атом. Резерфорду це здалося технічно можливим і він залучив американських фізиків Робенса Ван де Граафа і Еренста Уолтона розпочати розробку прискорювача частинок на 500кеВ.

Еру прискорювальної техніки фізики відраховують від початку 1930-х років, коли з'явилися відразу дві схеми прискорення частинок до енергій близько 1

МеВ. У 1932 році Джон Дуглас Кокрофт і Еренст Уолтон в Кембриджі сконструювали каскадний 800-кіловольтної генератор постійної напруги, який відкрив нову еру в експериментальної ядерної фізики. Уже в першому своєму експерименті вони направили пучок прискорених протонів на мішень з літію-7 і спостерігали ядерну реакцію: ядро літію захоплювало протон і потім розпадалося на дві альфа-частинки. Це було перше повністю контрольоване людиною розщеплення атома, яке принесло їм Нобелівську премію в 1951р.

У ці ж часи Робенсом Ван де Граафом було винайдено електростатичний генератор для досліджень ядерної фізики,а згодом у Прінстоні побудував свою першу машину, яка досягла потенціалу в 1,5МВ.

У пізніх версіях генератора Ван де Граафа з'явилися дві нові функції. По-перше, поріг іскроутворення підвищили шляхом розміщення електродної системи та прискорювальної трубки в резервуарі високого тиску, що містить сухий азот або фреон, при 9-10 атмосфер, що дозволяє працювати, як правило, до 10 МВ. Друга була пізнішою розробкою, яка має спеціальну назву Тандемний прискорювач. Його нова функція ґрунтувалася на тому, щоб двічі застосовувати прискорювальну напругу. Спочатку до нейтральних атомів приєднується додатковий електрон для створення негативних іонів. Промінь негативних іонів вводиться з потенціалом землі в тандем і прискорюється до високовольтної клеми, де проходить через тонку фольгу, яка відриває щонайменше два електрони від кожного негативного іона, перетворюючи їх на позитивні іони. Потім вони вдруге прискорюються назад до потенціалу Землі. Генератор Ван де Граафа і Тандем забезпечують промені стабільної енергії та невеликого поширення енергії, але вони не можуть забезпечити такі великі струми, як генератор Кокрофта-Уолтона.

Тандем з найвищою енергією знаходиться в Ок-Ріджській національній лабораторії і зазвичай працює з напругою 24,5 МВ на центральному терміналі. Однак розвиток не зупиняється, і в Страсбурзі виконується проект (Vivitron) по будівництву Tandem, що працює на 35 МВ.

Прискорювачі прямої напруги були першими, які використовувалися для досліджень ядерної фізики, але вони були обмежені максимальною напругою, яка могла бути створена в системі. Це обмеження було занадто обмежуючим для вимог фізики високих енергій, і потрібна була альтернатива. Альтернативу запропонував Ернст Ізінг. Він планував багаторазово прикладати ту саму напругу до частинки, використовуючи змінні поля, і його винахід мав стати основним принципом усіх сучасних прискорювачів надвисоких енергій. Це відомо як резонансне прискорення. Ученим було запропоновано прискорюючу частинку з лінійною серією провідних дрейфових трубок.

Різниця між механізмами прискорення Д. Кокрофта, Е. Уолтона та Е. Ізінга залежить від того, чи є поля статичними чи змінними в часі.

Технологічно лінійний прискорювач досить складно було побудувати і він був відтіснений. Ернест Орландо Лоуренс зрозумів, що резонансне прискорення частинок не обов'язково здійснювати на прямолінійній траєкторії. Ним було опубліковано схему циклічного резонансного прискорювача. Перша його модель

працювала в 1932 році. Лоуренс спільно з Лівінгстоном побудували 25-сантиметровий протонний прискорювач на 1,2 МеВ. Ще через рік у них була машина, яка прискорює ядра дейтерію до 5 МеВ. Свій винахід почали називати циклотроном. Атом розщеплено лише через кілька тижнів після Кокрофта та Уолтона. Лоуренс отримав Нобелівську премію в 1939 році.

Однак, циклотрон, був обмежений в енергії релятивістськими ефектами й потрібна була нова ідея, щоб досягти ще більш високих енергій.

Циклотрони випередили в своєму розвитку електростатичні прискорювачі. У 1940 році американський фізик Дональд Вільям Керст реалізував циклічний індукційний прискорювач електронів (бетатрон), ідея якого раніше вже висувалася американським фізиком Дж. Слепяном (1922 р.); швейцарським фізиком Рольфом Відероеном (1928 р.).

З 1944 року Володимир Йосипович Векслер і Едвін Маттісон Макміллан відкрили механізм автофазування, що діє в резонансних прискорювачах і дає змогу істотно підвищити енергію прискорених частинок. На основі цього принципу було запропоновано нові типи резонансних прискорювачів: синхротрон, фазотрон, синхрофазотрон, мікротрон.

У 50-ті роки запропоновано принцип знакозмінного фокусування частинок (Н. Крістофілос, Е. Курант, М. Лівінгстон, Х. Снайдер), який підвищив технічну межу досяжних енергій в циклічних і лінійних прискорювачах заряджених частинок. В. Й. Векслером висунуто ідею когерентного методу прискорення частинок. Наступні два десятиліття були роками реалізації цих ідей і технічного удосконалення прискорювачів заряджених частинок.

У 1972 в США був створений синхрофазотрон на 200-400 ГеВ. Розроблялися проекти прискорювачі на 1000-5000 ГеВ. У середині 1990 -х років найкрупнішим протонним синхротроном був «Теватрон» Національної прискорювальної лабораторії ім. Фермі в місті Батавія, який прискорював згустки протонів до енергії близько 1 ТеВ.

У теперішній час прискорювачі частинок широко використовуються в галузях наукових досліджень, як прикладної фізики, медицини, промислової обробки, а також передбачається їх можливе використання в енергетиці.

Список літератури:

1. A brief history and review of accelerators [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://cds.cern.ch/record/260280/files/P00021907.pdf

2. Електронний ресурс. – Режим доступу: https://www.energy.gov/articles/how-particle-accelerators-work

3. E.O. Lawrence and N.E. Edlefsen, Science, 72 (1930), 376.

4. E.O. Lawrence and M.S. Livingston, "The production of high speed light ions without the use of high voltages", Phys. Rev., 40 (April 1932), 19–35.