**МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ МАС МІКРОЧАСТОК**

/дипломна робота/

**РЕФЕРАТ**

Стор. 25, рис. 3, літ. 6.

Дана дипломна робота присвячена опису методів визначення мас найбільш відомих мікрочасток. В роботі описані найбільш відомі методи, які зіграли вирішальну роль в історії фізики з точки зору набуття нових фундаментальних знань.

Робота розрахована на широкого читача і може бути використана в учбовому процесі при вивченні загальної фізики в школі.

**ЗМІСТ**

ВСТУП 4

1. Про закон кратних співвідношень 5

2. Гіпотеза Проута 7

3. Загадка нецілочисленності атомної ваги елементів 8

4. Зважування "мішка" атомів 9

5. Визначення мас ізотопів з допомогою мас-спектрографа 12

6. Залежність маси електрона від швидкості 15

7. Відкриття нейтрона і визначення його маси 19

8. Визначення маси мезонів, гіперонів і, можливо, кварків 22

ВИСНОВКИ 24

ЛІТЕРАТУРА 25

# ВСТУП

До початку XIX ст. зусиллями багатьох вчених і інженерів були досягнуті значні успіхи в розвитку фізики і техніки. Особливі успіхи були досягнуті в області механіки, оптики, астрономії і небесної механіки. В той час у фізиці панували неправильні і суперечливі ідеї. Вважали, що всі хімічні речовини складаються з трьох або чотирьох основних складових, які мали різні властивості і представляли собою їх суміш, в якій ці властивості різним чином комбінуються.

В XIX і XX ст. вчені на основі дослідів, деколи дуже тонких і складних, а інколи дуже простих, зуміли відкинути неправильні думки. При цьому кількість основних постулатів зменшилася, а їх застосування поширилося.

Так в науку ввійшли представлення про перервну атомну структуру речовини. Вченим відкрився мікросвіт - світ малих тіл, невидимих не тільки неозброєним оком, а й в самі сильні мікроскопи. Для того, щоб розібратися в явищах мікросвіту, потрібно було в першу чергу визначити основні характеристики малих тіл, що їх складають: масу і розміри частинок речовини, їх електричний заряд, характер і величину сил взаємодії між ними і т. ін. На цьому шляху вчені зустріли багато труднощів і зробили ряд відкриттів, що радикально змінили різні уявлення про навколишній світ а також перебудували техніку і промисловість.

В даній дипломній роботі прослідковані деякі історичні моменти розвитку вчення про будову речовини, про мікросвіт, а також описано різні методики вимірювання мас мікрочасток. Робота носить методичний характер, написана на доступному для широкого кола читачів рівні і може бути використана в курсі фізики середньої школи для позакласного читання.

## 1. Про закон кратних співвідношень

В середні віки панував авторитет відношень, в той час як думки інших вчених були невідомі, забуті або не користувались довір‘ям. Алхімікам здавалося, що достатньо відповідним чином змішати декілька різних речовин і таким чином одержати нову речовину з необхідними властивостями. Оскільки авторитет Арістотеля був незаперечним, то перетворення елементів здавалося можливим. Наприклад, вважалося, що з неблагородних металів можна отримати золото.

В 1808 році Джон Дальтон (1766-1844 рр.), розвиваючи атомістичні погляди на будову речовини, прийшов до висновку, що прості речовини складають складні сполуки так, що один атом речовини А сполучається з одним або двома атомами речовини В, 2 атоми речовини А сполучаються з одним атомом речовини С і т. д. Неважко помітити, що це закон кратних співвідношень Дальтона знаходиться у відповідності з законом постійних співвідношень Пруста. Дальтон вважає, що основною властивістю атомів є їх нероздільність, а основна їх характеристика - це вага. Він представляв, що атоми різних елементів відрізняються один від одного, а атоми однорідної речовини однакові і між собою нерозрізнимі.

Правильне і достатньо повне пояснення закону постійних відношень було дано в 1811 році Амедео Авогадро (1776-1856 рр.), який висловив гіпотезу: рівні об‘єми газів однакових зовнішніх умовах (тобто при однакових температурі і тиску) складають однакове число молекул. В подальшому кількість грамів речовини, чисельно рівна її молекулярній вазі, було назване грам-молекулою, а число молекул в одній грам-молекулі будь-якої речовини - числом Авогадро. Таким чином, за Авогадро те, що два літри водню при сполученні з літром кисню дають два літри водяної пари, або в сучасних хімічних символах

2H2+O2→2H2O

пояснюється складом в кожному літрі (при однакових зовнішніх умовах) однакового числа двохатомних молекул відповідних газів. При даній хімічній реакції двохатомні молекули водню і двохатомні молекули кисню перегруповуються в трьохатомні сполуки - молекули водяної пари.

Таким чином, гіпотеза Авогадро не тільки підтверджує закон простих співвідношень, але й дає можливість визначити відносні маси молекул різних речовин. При цьому число молекул в даному об‘ємі газу і їх маса поки що залишаються невідомими.

В подальшому вченими було накопичено багато матеріалу про різні хімічні сполуки. Тільки Берцеліус (1779-1848 рр.) проаналізував близько 2000 хімічних сполук. В результаті вдалося не тільки підтвердити закон постійних співвідношень, але й побудувати шкалу відносних атомних ваг, тобто таблицю, і якій вказано, в скільки разів атомна вага даного елемента більша або менша атомної ваги другого елемента, прийнятого за одиницю.

За пропозицією Дальтона атомна вага, що рівна одиниці, умовно була приписана водню, як найлегшому з усіх елементів.

Побудовані на цій основі таблиці атомних ваг дали для всіх елементів приблизно цілочисельні значення.

В подальшому, за пропозицією Берцеліуса, за одиницю для розрахунку атомних ваг був взятий кисень. В експериментальному відношенні це було набагато зручніше, тому що кисень сполучається зі значно більшою кількістю елементів, ніж водень.

Одиниця для розрахунку атомної ваги отримала назву атомної одиниці маси (а. о. м.). За домовленістю атомна вага кисню була прийнята рівною 16 а. о. м.

Таблиці атомних ваг елементів, що побудовані на основі кисню, також дали для різних елементів приблизно цілочисельні значення. Якщо б мова йшла про три або чотири елементи, то ще можна б рахуватися з імовірністю того, що їх відносна атомна вага лише випадково є цілочисельною. Для дев‘яти елементів, за розрахунками Стретта, ймовірність того, що їх атомна вага випадково розташується близько цілочисельних значень, не перевищує 0,001.

На початку XIX ст., коли обговорювалося питання про зміст цілочисельного відношення атомних ваг, було відомо 35 хімічних елементів. Для 35 елементів ймовірність випадкового розташування атомних ваг близько цілочисельних значень настільки мала, що практично її немає змісту брати до уваги.

## 2. Гіпотеза Проута

В 1815 році для пояснення розташування атомних ваг елементів поблизу цілочисельних значень Проут (1786-1850 рр.) запропонував гіпотезу про те, що всі елементи походять з водню шляхом його конденсації. З цієї гіпотези, звичайно, випливало, що атомні ваги всіх елементів повинні бути цілими, кратними атомній вазі водню.

На початку XIX ст. ідея Проута знайшла гарячих прихильників і не менш гарячих противників. Прихильників привертала простота його гіпотези. Противники свої заперечення аргументували тим, що з гіпотези Проута випливає точна цілочисельність атомних ваг елементів, яка насправді не має місця. При цьому вони доводили, що чим вища точність вимірювання атомних ваг елементів, тим помітніше це розходження. Крім того, хлор і деякі інші елементі явно мають нецілочисельну атомну вагу.

## 3. Загадка нецілочисленності атомної ваги елементів

В ХІХ ст. Дальтон запропонував п’ять постулатів, які лягли в основу сучасної хімії. І сам Дальтон одним необгрунтованим формулюванням заплутав дослідників.

В своєму п’ятому постулаті він дав визначення поняття "елемент" або "хімічний елемент" таким чином: всі атоми одного і того ж елемента однакові і рівні по вазі. В сучасній науці хімічними елементами називають речовини, що мають постійні властивості і не подільні на інші складові ніяким хімічним втручанням. Друга частина його визначення - рівність по вазі всіх атомів даного елемента - чиста гіпотеза

Лише в 1886 р. Вільям Крукс висунув іншу точку зору. Крукс добре розумів, що до тих пір, поки атомна вага елементів визначається не для окремих атомів, а як середня вага дуже великого їх числа, то пропозиція про різну атомну вагу окремих атомів одночасно і того ж елемента не може бути обгрунтованою. Крукс запропонував правильну думку про те, що у атомів даного елемента, які мають різну вагу, повинні бути різні оптичні спектри. При подальшому дослідженні вияснилось, що спостережувані ним спектри справді належали іншим елементам, які були присутні в досліджуваній речовині у вигляді домішок.

Тепер ми знаємо, що Крукс був правий і що атоми одного і того ж елемента але різної ваги існують і дійсно дають різні спектри. Крім того, тепер зрозуміло, чому їх не змогли побачити тоді: розділення таких атомів дифузією малоефективне і потребує застосування надзвичайно тонкої методики, якої на той час не було.

Ідея про атоми одного елемента, які мають різну вагу, була на довгий час (на цілі десятиліття) відкинута.

Тільки в 1916 р. в зв’язку з розвитком досліджень по радіоактивності Фредерік Содді висловив ідею про речовини, ідентичні по своїх хімічних властивостях, але які мають різну атомну вагу. Було показано існування речовини з однаковими хімічними властивостями і різною атомною вагою.

Содді запропонував такі речовини називати *ізотопами* (по грецьки *ιδυζ* - однаковий, *τοποζ* - місце).

## 4. Зважування "мішка" атомів

Багато років хіміки мали справу лише з відносними атомними вагами елементів. Коли потрібно було розробити методи визначення абсолютної ваги атомів, то на допомогу прийшли фізики. Вони застосували свої дуже чутливі методи дослідження.

Таким чином, поставлена мета була досягнута: була визначена маса атомів різних елементів. Однак як і слід було очікувати від методу зважування мішка зерен, для кожного елемента було лише середнє значення маси даного типу атомів.

В звичайному стані атом будь-якої речовини електрично нейтральний. Якщо його розділити, то одержуються дві частки і обидві електрично заряджені. Їх називають іонами. При цьому негативним іоном є електрон, а позитивним - ядро атома з декількома електронами, що залишились. Позитивний іон є носієм індивідуальності атома, а також майже всієї його маси (більше 99,9%). Таким чином, бажаючи визначити масу атома, ми можемо зважити відповідний позитивний іон.

Подивимось, як цим скористався Томсон для визначення маси іонів. Потрібно було одержати пучок позитивних іонів. Для цього він виготовив установку (рис. 1) на якій посудина *С* через відповідні отвори *О1* і *О2* заповнюється досліджуваним газом. До електродів *А* і *К* прикладено високу напругу ~(3-5)⋅104 В. Під дією напруги електрони вириваються із атомів і газ в посудині іонізується. Електрони прямують до позитивно зарядженого електрода +*А*, а позитивні іони - відповідно до негативного електрода -*К*. В негативному електроді зроблено циліндричний отвір - канал, через який пучок позитивних іонів виводиться в ліву частину установки. Попутно ці іони проходять між зарядженими електродами +*U* і -*U* та полюсами магніту, що утворюють магнітне поле (див. рис. 1).

Для виключення взаємного впливу і можливих спотворень обидві частини установки розділили магнітним екраном, що зроблений з м’якого заліза. Таким чином, пучок іонів досягає фотопластинки вже зазнавши відхилення в електричному і магнітному полях. Екран служить для візуального спостереження зміщення пучка іонів і використовується при налагоджуванні установки.

Якщо б іони мали однакові заряди, масу і швидкість, то при включенні електричного поля вони відхилялися б вниз і потрапили в точку 1 (рис. 1). Точка 0 відповідає невідхиленому пучку. При тих же умовах і включенні лише магнітного поля іони відхилились би і потрапили в точку 2. При включенні обох полів одночасно іони потрапляють в точку 3. Однак це справедливо лише при однакових



Рис. 1. Принципова схема установки Томсона для визначення маси іонів.

зарядах, масах і швидкостях іонів. Чи справджується ця умова в даній установці? Виявилось, що заряд більшості іонів рівний +1 (в одиницях елементарного заряду), а в деяких +2. При цьому розрізнити такі іони не складає великих труднощів. Що стосується швидкості, то вона зовсім не однакова для різних іонів.

Таким чином реальною умовою досліду є твердження, коли заряди і маси іонів однакові, а швидкість різна. При цьому під дією електричного і магнітного полів іони потрапляють вже не в одну і ту ж точку, а в залежності від швидкості розміщуються по відрізку параболи. Якщо в посудині *С* міститься не один газ, а суміш декількох, то пучок позитивних іонів складається з декількох груп іонів з різною масою. Тоді на фотопластинці одержується зображення декількох відрізків параболи. Причому кожен відрізок відповідає іонам з однією і тою ж масою.

Метод парабол вперше дозволив виміряти масу окремих іонів, а не середню масу великого їх числа.

## 5. Визначення мас ізотопів з допомогою мас-спектрографа

В 1919 р. Астон запропонував новий метод фокусування пучка іонів, який дозволив в значній мірі обійти недоліки методу параболи. Розроблений і побудований Астоном пристрій дістав назву мас-спектрографа.

Розглянемо схему і будову мас-спектрографа Астона (рис. 2). Пристрій складається з джерела іонів, двох вузьких паралельних щілин *Щ1* і *Щ2*, двох паралельних пластин *П1* і *П2*, до яких прикладена напруга, діафрагми, потужного постійного магніту, екрана і фотопластинки. Джерело іонів складається із посудини, заповненої досліджуваним газом,



Рис. 2. Принципова схема мас-спектрографа Астона.

анода, катода з щілиною *Щ1* і антикатода. Між анодом і катодом прикладено високу напругу від 2⋅104 до 5⋅104 В, яка і дає іонізацію.

Іони, що створені в посудині джерела, проходячи через щілини *Щ1* і *Щ2*, складають вузький пучок частинок. Цей пучок відхиляється в електричному полі, причому кут відхилення обернено пропорційний енергії частинки . Таким чином проходить розкладання пучка іонів по енергії. Потім цей пучок іонів потрапляє в однорідне магнітне поле, яке напрямлене так, щоб відхилити іони в зворотній бік. Магнітне поле відхиляє іони на кут, обернено пропорційний імпульсу часток *mV*. При проходженні іонів послідовно через електричне і магнітне поля ті з іонів, у яких питомий заряд *e*/*m* однаковий, збираються на екрані чи фотопластинці в одній і тій же точці.



Якщо в початковому пучку наявні іони різних ізотопів, то внаслідок різниці їх питомих зарядів вони фокусуються в різних місцях екрану і складають там зображення у вигляді окремих ліній. Визначення маси того чи іншого ізотопу проводиться порівнянням ліній від досліджуваного ізотопу з еталонними лініями, одержаними на тій же спектрограмі від ізотопів, маса яких відома. Відношення відстаней між ними дає змогу визначити відношення їх мас.

Вже перший мас-спектрометр Астона, побудований на цьому принципу і працюючий з 1919 по 1925 рр., дозволив виміряти атомні ваги ізотопів з похибкою менше 1%. Однак різниця атомної ваги деяких ізотопів від цілочисельних значень складає лише одиниці процентів. Тому така точність не змогла задовольнити вчених.

В 1925 р. Астон удосконалив свій мас-спектрограф і довів його роздільну здатність до 10-4, тобто 0,01%. Для цього довжина шляху іонів в пристрої була збільшена вдвоє, покращена форма відхиляючих пластин, стабілізація магнітного поля і т.д.

В подальші роки Демнестер, потім Смаліо і Маттаун, а потім Нір розробили деякі нові принципи фокусування іонів і побудувавши відповідні пристрої, досягли вищої точності вимірювання маси ізотопів. Висока чутливість пристрою Ніра дозволила виявити наявність даного ізотопу, змішаного з іншими, навіть якщо його відносний ваговий вміст складав лише 1/100000.

В 1937 р. на своєму третьому, ще більш удосконаленому мас-спектрографі Астон одержав спектрограми чіткіші, різкіші і з більшою дисперсією, тобто з великим зміщенням положення ліній при зміні маси ізотопу. Це дозволило йому визначити атомну вагу ізотопів з точністю до п’ятого знаку. Таким чином, похибка його вимірювань складала лише тисячні долі процента. Самим легким позитивним іоном є протон - ядро атома водню. В 50-х роках нашого століття була визначена маса протона *mp*=1,6724⋅10-27 кг з похибкою біля 0,002%. По даних одержаних до 1972 р. маса протона складає (1,6726513±0,0000087)⋅10-27 кг, тобто вона знайдена з похибкою 0,0005%.

## 6. Залежність маси електрона від швидкості

Для того, щоб зважити електрон, Томсон користувався таким же пристроєм, але при цьому змінив полярність на електродах колби джерела і таким чином вивів через щілину пучок негативно заряджених частинок ‑ електронів.

Умова фокусування для електронів така ж, як і для позитивних іонів, тільки у відповідності з протилежним знаком заряду їх відхилення відбувається в інший бік. Знаючи величину напруженості електричного і магнітного полів в пристрої і вимірявши зміщення плями на екрані або фотопластинці, Томсон зміг обчислити питомий заряд електрона *e/m*. Так як заряд електрона вже був відомий, то він зміг знайти і масу електрона, яка була рівною *me*=9×10-31 кг, що приблизно в 2000 раз менше маси іона водню.

З допомогою пристрою, з яким працював Томсон, вдалося визначити масу електрона з похибкою, що не перевищувала долі відсотка. Одержане таким чином значення маси електрона стало рівним *me*=9,106×10-31 кг.

Макс Абрагам (1875-1922 рр.) і Гендрік Лоренц (1853-1928 рр.) розвинули цю думку далі і частково вивели формули залежності маси електрона від його швидкості.

Однак, будову електрона вони уявляли по-різному: Абрагам ‑ у вигляді абсолютно твердої кульки, а Лоренц ‑ у вигляді пружної кульки, яка при переміщенні стискається в напрямку руху, причому тим більше, чим більша його швидкість. Тому їх формули виявились різними. Обидві теорії приводили до того, що маса електрона повинна залежати від його швидкості, але давали різні вирази і відповідно різну величину цієї залежності. В ці формули (Абрагама і Лоренца) входить відношення швидкості електрона до швидкості світла в пустоті. Таким чином, ясно було одне: ефект зміни маси з швидкістю повинен бути помітним при швидкостях електрона, порівняних по величині зі швидкістю світла.

В 1901 році Вальтер Кауфман (1871-1947 рр.) виміряв масу електронів, що рухаються з великою швидкістю. Для цього він користувався вже відомим методом параболи Томсона.

В досліді Кауфмана досліджувалися однакові частинки ‑ електрони, які не мають відносно велику швидкість. В якості джерела Кауфман використав радіоактивний препарат, що випромінював *β*-частинки, тобто швидкі електрони. Однією з особливостей *β*-випромінювання є те, що вилітаючі частки мають неперервний спектр швидкостей, тобто в потоці частинок представлені всі швидкості, від нульової до деякої граничної, характерної для кожного даного радіоактивного джерела.

Установка Кауфмана (рис. 3) являє собою вакуумну трубку, з одного краю якої розміщені джерело електронів і діафрагма, а з другого ‑ екран або фотопластинка. Всередині трубки на шляху пучка електронів розміщені відхиляючі пластини П1 і П2, між якими з допомогою електричної батареї створюється різниця потенціалів *U*1-*U*2. Там же розміщений постійний магніт *М*. Таким чином створюються магнітне і електричне поля, які відхиляють електрони.

В результаті зміни напрямку електричного поля, тобто переключення полярності батареї, Кауфман одержав на фотопластинці не одну, а дві криві. Точка *О* відповідає невідхиленому променю. Криві не доходять до точки *О* тому, що швидкість часток обмежена зверху. Однак, найсуттєвішим в цих кривих було те, що вони не є параболами.

Відмінність експериментальних кривих від парабол показує, що при зміні швидкості електрона неперервно змінюється його питомий заряд *e/m*. Але з ряду міркувань заряд електрона змінюватись не може, значить, змінюється його маса. Таким чином те, що в досліді Кауфмана була отримана неперервна крива, відмінна від параболи, свідчило про те, що при різних швидкостях маса електрона різна.



Рис. 3. Установка для дослідження залежності маси електрона від швидкості..

## 7. Відкриття нейтрона і визначення його маси

На початку XX ст. були відомі лише дві елементарні частки ‑ електрон і протон і лише дві їх основні характеристики ‑ електричний заряд і маса.

В відповідності із цим представленням про склад речовини в 1911 р. Ернестом Резерфордом (1871-1937 рр.) була запропонована модель атома у вигляді важкого позитивно зарядженого ядра, навколо якого обертаються негативно заряджені електрони. При цьому говорили, що ядра атомів складаються з протонів і нейтронів.

Самий легкий з елементів - водень - має атомну вагу рівну одиниці, а електричний заряд його ядра рівний +1. Ядро атома водню складається з одного протону, навколо якого обертається один електрон. Згідно з моделлю Резерфорда, більш важкі атоми мають ядра, які складаються з декількох протонів і нейтронів, а біля ядер обертається група електронів.

Ще в 1900 р. Максом Планком (1858-1947 рр.) в науку було введено поняття про дискретність енергії. Твердження про те, що будь-яка система при будь-яких процесах може поглинати і віддавати енергію не неперервно, а лише окремими порціями, квантами, знайшло дослідне підтвердження.

В 1913 р. Нільс Бор (1885-1962 рр.) розробив нову модель атома. При цьому, в відповідності з думками Планка, він постулював, що момент обертання електронів навколо ядра не довільний, а обов'язково рівний цілому кратному деякої величини *h*, тобто 1*h*, 2*h* або взагалі n*h*. Постійна Планка *h*=(6,628169±0,000028)⋅1034 Дж⋅с є мінімальною порцією дії. З цього положення звичайно слідує, що електрони можуть обертатися навколо ядра не по довільних, а лише по визначених - стаціонарних орбітах.

Модель Бора була дуже плодовита, з її допомогою вдалося пояснити деякі важливі закономірності мікросвіту, частково визначити довжини хвиль, що випромінюються атомами.

Успіх моделі атому Бора був великим, але не повним. Число електронних ліній, що спостерігались на досліді, в окремих випадках було більшим того, яке випливає з цієї моделі. Там, де згідно з теорією Бора повинна бути одна лінія, іноді їх було дві або три. Особливо великі і непереборні труднощі виникли при спробах пояснити з допомогою моделі атома Бора вплив на світло магнітного поля.

Можна було очікувати, що розщеплення спектральних ліній в магнітному полі відсутнє в відповідності з числом можливих орієнтацій орбітального магнітного моменту. Дійсно, такий ефект спостерігається і носить назву нормального ефекту Зеємана. Однак в деяких випадках поряд з цим спостерігається розщеплення на більше число ліній, яке називають аномальним ефектом Зеємана.

Аномальний ефект Зеємана одержав пояснення з допомогою уявлень про магнітний момент і спін електрона. Справді, так як в магнітному полі електрони переорієнтовуються, то на це потрібна деяка додаткова енергія. Таким чином, утворюються додаткові рівні енергії і при випромінюванні квантів світла в магнітному полі одержується більше число спектральних ліній, ніж без нього.

В 1930 році Боте і Беккер знайшли, що при опроміненні *α*-частками легкого металу берилію виникає сильно проникливе випромінювання. Поставивши на шляху такого випромінювання товсту металеву пластинку, вчені легко встановили, що це не електрони і не протони, так як ці частки поглинаються в тонкому шарі металу. Залишалося допустити, що це *γ*-випромінювання, так як інших іонізуючих випромінювань тоді ще не було відомо. Невідоме випромінювання, проходячи через свинцеву пластинку товщиною 5 см, послаблювалось вдвоє. Звідси випливало, що якщо це *γ*-випромінювання, то воно повинно мати енергію 5 МеВ.

Трудність була вирішена Чедвіком, який зрозумів, що невідоме випромінювання представляє собою потік часток, які мають масу приблизно таку ж, як і протони і не мають електричного заряду. Вони були названі нейтронами.

За даними, які одержали до 1972 року маса спокою нейтрона *m*n=(1,6749575±0,0000087)⋅10-27 кг або 1,00866520±0,00000010 а. о. м. Спін нейтрона, так як і протона, був рівним

,



тобто, напівцілим.

Ідея про протон-нейтронний склад атомних ядер була правильною і плодотворною. В наступні роки протон-нейтронна модель ядра одержала подальший розвиток.

Дальше дослідження нейтронів показало, що ці частки нестійкі. Через деякий час нейтрон самовільно перетворюється в протон, електрон і антинейтрино. Маса спокою нейтрона більша маси спокою протона і електрона, разом взятих, тому ця ядерна реакція йде з виділенням енергії, яку і виносять породжені частки.

Дослідження нейтрино і антинейтрино показали, що ці частки мають спін і не мають електричного заряду. Їх маса спокою рівна нулю. Вони дуже слабо взаємодіють з речовиною і тому володіють надзвичайно великою проникною здатністю. Беручи участь в багатьох ядерних перетвореннях, нейтрино і антинейтрино забирають помітну частину енергії.

## 8. Визначення маси мезонів, гіперонів і, можливо, кварків

В 1936 році Андерсон і Неддермайєр при вивченні космічних променів з допомогою камери Вільсона відкрили частку, яка була важча за електрон, але легше від протона. Для вияснення її властивостей в першу чергу потрібно було виміряти масу і заряд. Визначення маси чистки по її сліду в камері Вільсона робиться так: камера розміщується в сильне магнітне поле. При цьому траєкторія частки викривлюється, а величина цього викривлення виявляється пропорційною силі магнітного поля і обернено пропорційною кількості руху та самої частки.

Таким чином, Андерсон і Неддермайєр встановили, що нова частка відрізняється від електрона і протона і має масу, рівну близько 200 електронних мас *m*e, і одиничний електричний заряд. Ця частка одержала назву μ-мезон.

В 1947 р. Латтес, Мюгерхед, Оккіамн і Пауел при роботі з фотографічними емульсіями виявили на них сліди нової частки. На одній з таких фотографій було видно, що ця частка, проходячи деякий шлях в емульсії, розпадається, породжуючи другу частку, а та також, проходячи деяку відстань в емульсії, в свою чергу розпадається і породжує ще одну частку.

Вивчення густини слідів показало, що слід зліва більш густіший, а слід справа ще менш густий. Виявилось, що середня поздовжня дільниця відповідає частці, маса якої набагато більша 200 *m*e і ідентифікується з μ-мезоном. Тонкий слід справа відповідає електрону, а більш товстий справа відповідає частинці з масою, близькою до 270*m*e. Ця частка була названа π-мезоном.

При подальших дослідженнях були знайдені π-мезони трьох типів: π+, π- і π0-мезони, тобто позитивні, негативні і нейтральні. За фотографіями слідів з великою точністю була визначена їх маса, яка у π+і π--мезоні вбула рівною 273*m*e, а у π0-мезона рівна 264*m*e. Середній час життя π+і π--мезонів рівний 2,55×10-8 с, а у π0-мезона рівний 1,80×10-16 с.

Такий метод використовується при визначенні маси дуже короткоживучих часток, так як їх слід в камері є дуже коротким. На протязі подальших років були відкриті частки з масою, рівною 966*m*e, 974*m*e(*к*-мезони) і ціла група часток з масою від 2183*m*e до 2580*m*e, що отримали назву гіперонів. Середній час їх життя 10-8-10-10 с.

# ВИСНОВКИ

Ми бачимо, що вивчаючи мікросвіт вчені одержали відповіді лише на частину своїх питань. Однак ці відповіді надзвичайно поглибили знання і корінним чином перетворили техніку. Так, наприклад, розуміння деяких ядерних реакцій дозволило збудувати ядерну енергетику і пояснити звідки беруться величезні енергетичні ресурси зірок. Ще багато задач не розв’язано. Але нерозв’язані задачі якщо тільки правильно поставлені питання є передвісником майбутніх відкриттів.

# ЛІТЕРАТУРА

1. Завельский Ф.С. Масса и ее измерения. - М. - 1972. - 127 с.
2. Гамсей В., Оствальд В. Из истории химии.- Пер. с англ. - М.: Госиздат. - 1983. - 94 с.
3. Астон Ф.В. Масс-спектры и изотопы.- Пер. с англ. - М.: Изд-во иностр. лит. 1948. - 231 с.
4. Форд К. Мир элементарных частиц.- Пер. с англ. - М.: Мир. - 1965. - 167 с.
5. Власов Н.А. Антивещество. - М.: Атомиздат. - 1966. - 154 с.
6. Джуа М. История химии.- Пер. с англ. - М.: Мир. - 1961. - 226 с.