

## Физиката на елементарните частици

Във физиката на елементарните частици определението за елементарна частица най-общо е частица която взаимодейства силно и има структура. Общото понятие за всички елементарни частици е **адрон**, но има такива които не взаимодействат силно те се наричат **лепто**ни.

Адроните се разделят на две основни групи:

- (1) - Мезони;
- (2) - Бариони.

Всички адрони са изградени от кварки - кваркът в последните десетилетия е била най-малката позната градивна частица, но с напредването на теоретичната физика в областта на Струнната теория или М-теорията и експериментите в ускорителите на елементарни частици се появяват все повече нови и нови частици. Известно е още, че всяка позната частица притежава античастица, която има същата маса, но е с обратен заряд.

Име	Символ	Маса $MeV/c^2$	$Q$ Заряд	Антикварк	Символ
Първо поколение					
Up	u	1,5 ÷ 4	$+\frac{2}{3}$	Antiup	$\bar{u}$
Down	d	4 ÷ 8	$-\frac{1}{3}$	Antidown	$\bar{d}$
Второ поколение					
Charm	c	$1,300_{-150}^{+50}$	$+\frac{2}{3}$	Anticharm	$\bar{c}$
Strange	s	$100_{-20}^{+30}$	$-\frac{1}{3}$	Antistrange	$\bar{s}$
Трето поколение					
Top	t	$178^{\pm 4.3}$	$+\frac{2}{3}$	Antitop	$\bar{t}$
Bottom	b	$4,250_{-150}^{+150}$	$-\frac{1}{3}$	Antibottom	$\bar{b}$

Различните комбинации от кварките дават началото на познатите ни елементарни частици, като протони, неутрони и др. - попадащи в групата на барионите.

Елементарните частици също се характеризират със своя спин - Това е собственият момент на импулса на елементарна частица с квантова природа, който не е свързан с движение в

пространството, а е вътрешна квантова характеристика на частицата нямащ еквивалент в класическата механика. Спинът се измерва в единици  $\hbar$  – редуцирана константа на Планк или константа на Дирак. Моментът на спина е квантуван и се изчислява по следната зависимост.  $S = \hbar\sqrt{s(s+1)}$ , където  $s$  е цяло или полуцяло положително число, като може и да е 0. Което позволява да се говори за цял или полуцял спин. В зависимост от спина елементарните частици се класифицират на два класа:

- Фермиони – частици с полуцял спин.
- Бозони – частици с цял спин.

**Мезоните** са изградени от кварк и антикварк, така че спинът на мезоните може да бъде кратен на цяло число. Най-добре познатият и най-лекия от всичките мезони е **пиони**.

- Пионът е колективното наименование във физиката на елементарните частици на три елементарни частици, теоретически предсказани през 1935 и открити през 1947 със означение  $\pi^0, \pi^\pm$ . Той се състои от  $u$  и  $\bar{d}$  кварки.
- Разпадът на пиона е:  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu, \pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu, \pi^0 \rightarrow 2\gamma$

**Барионите** са трикваркови структури, които са изградени или от три антикварка или три кварка, така че сумарният спин

отсава кратен на  $\frac{1}{2}$ . Така барионите попадат в класа на

фермионите. Най-стаблиният и най-отдавна познат на хората барион е протона.

Барионите са силно взаимодействащи си фермиони. Те се опитват от статистиката на Ферми-Дирак, която по принцип се прилага върху всички частици, подчиняващите са принципа на Паули

\*Принцип на Паули (Волганг Паули) – формулиран през 1925г. наричан още принцип на забраната в квантовата механика.

- В дадена квантова система не е възможно да съществуват едновременно два фермиона с еднакво квантово състояние, т.е да се характеризират от четири еднакви квантови числа.

\*\*Характеристиките на материята се основават на този принцип, който засяга пряко електронната структура на атома от там Периодичната система на елементите на Менделеев и химическото взаимодействие, до процесите във вътрешността на неутронните звезди и белите джуджета.

\*\*\*В математическото описание на принципа е следствие на вълновата функция за система от еднакви частици, която може да е симетрична или асиметрична зависеща от спина на частиците. Частиците с антисиметричната вълнова функция се подчиняват на този принцип.

Видове Бариони:

- Освен нуклеоните (протони, неутрони), другите членове на семейството на барионите са следните частици:

Делта барион - ( $\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^0, \Delta^-$ ) - те са съставени от комбинация от Up и Down кварки и се разпадат до пион и или протон, или неутрон.

Ламбда барион - ( $\Lambda^0, \Lambda_c^+$ ) - те са съставени от u, d и или s, или s кварк. Неутралният ламбда барион е дал първото наблюдавано доказателство за съществуването на странен (strange, s) кварк.

Сигма барион - ( $\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$ ) - те са съставени от s и комбинация от u и d кварки. Неутралните сигма Бариони имат същата комбинация от кварки като при неутралните ламбда и бариони и поради това се разпадат много по бързо от  $\Sigma^+(uus)$  Или  $\Sigma^-(dds)$ .

Кси барион - ( $\Xi^0, \Xi^-$ ) - те са съставени от два s и/или u, или d кварки. Неутралният кси барион е  $\Xi^0(uss)$ , той се разпада на неутрален ламбда барион и неутрален пион, който от ствоя страна бързо се разпада до електрон и позитрон; те веднага анихилират и така изглежда, че продукт от разпада на кси бариона е един ламбда барион, който излъчва гама-лъчи.

**Барионна материя** - Барионната материя е материя, съставена главно от бариони (по маса). Това е материята, която ни е позната в ежедневието. Небарионната материя е коренно различна и е предмет на спекулации в космологията, в опитите да се разработи теория обясняваща всички наблюдения на материята във Вселената като цяло, като тъмната материя.

Таблица на барионите:

Частича	Символ	Маса $MeV/c^2$	Барионно Число	Странност	Чар	Средно Време на живот (s)	Състав
Протон	$p$	938,3	+1	0	0	стабилен*	$uud$
Неутрон	$n$	938,6	+1	0	0	920**	$ddu$
Делта	$\Delta^{++}$	1232	+1	0	0	$6.10^{-24}$	$uuu$
Делта	$\Delta^+$	1232	+1	0	0	$6.10^{-24}$	$uud$
Делта	$\Delta^0$	1232	+1	0	0	$6.10^{-24}$	$udd$
Делта	$\Delta^-$	1232	+1	0	0	$6.10^{-24}$	$ddd$
Ламбда	$\Lambda^0$	1115,7	+1	-1	0	$2,6.10^{-10}$	$uds$
Ламбда	$\Lambda_c^+$	2285	+1	0	0	$2.10^{-13}$	$udc$
Сигма	$\Sigma^+$	1189,4	+1	-1	0	$0,8.10^{-10}$	$uus$
Сигма	$\Sigma^0$	1192,5	+1	-1	0	$6.10^{-20}$	$uds$
Сигма	$\Sigma^-$	1197-4	+1	-1	0	$1,5.10^{-10}$	$dds$
Кси	$\Xi^0$	1315	+1	-2	0	$2,9.10^{-10}$	$uus$
Кси	$\Xi^-$	1321	+1	-2	0	$1,6.10^{-10}$	$dss$
Омега	$\Omega^-$	1672	+1	-2	0	$0,82.10^{-10}$	$sss$

\* - най-малко  $10^{30}$  години \*\* - за свободни неутрони, неутроните свързани в обикновените ядра са стабилни. От всички бариони единствено протона и неутрона са реални, останалите частици са виртуални.

**Бозон** - това са частица със цял спин, тъй като вътрешното движение на бозоните се описва от обикновените координати, то те имат цяло число  $\hbar$ . Например, фотон, пион, промеждутъчен (векторен) бозон, глюон.

В зависимост от броя на състоянията с еднакви квантови характеристики елементарните частици се подчиняват на две статистически описания. Правата Ферми-Дирак, а бозоните се подчиняват на статистиката на Бозе-Айнщайн, тъй като те не се подчиняват на принципа на Паули и може произволен брой от тях да заемат едно и също квантово състояние така колективното поведение на ансамбъл от бозони се описва от

горе посочената статистика. Причината за тези принципни различия в статистическото поведение е , че докато бозоните имат собствен механичен момент (спин), измерващ се в целочислени значения на константа на Планк, то фермионите имат спин, измерва се в полуцели. Бозоните са преносители на фундаменталните взаимодействия в природата. Някои фазови преходи от втори род се обясняват с бозонизация на фермионите, чрез групирането им по двойки с антипаралелни спинове, като например купъровите двойки в свръх-проводниците. По този начин, те преодоляват ограничението, наложено им от принципа на Паули и образуват енергетично по-изгодни статистически конфигурация (Бозе-флуид) При кондензатът на Бозе-Айнщайн се наблюдават странни явления в елементите, когато кинетичната енергия на елементарните им частици е 0, тогава разстоянието между тях драстично намалява и се получава препокриване на вълнови функции, което позволява да се пренебрегне принципа на Паули.

-Глуоните са реални векторни калибровъчни бозони, които са носители на силните взаимодействия на цветните заряди в квантовата хромодинамика. За разлика от неутралния фотон (преносител на електромагнитното взаимодействие в квантовата електродинамика, който не си взаимодейства с другите фотони), глуоните взаимодействат по между си. Това явление носи названието Самодействие на полето (цветно поле) и произхожда от некомутативността на групата на симетрии на силното взаимодействие. За разлика от кварките които са, червени зелени или сини, глуоните носят по два цвята.

-фотон - енергията на фотона е неговата главна характеристика. Във вакуум той се движи със скоростта на светлината. Масата на фотон в покой е равна на нула, на практика фотони в покой не съществуват, тъй като би означавало, че се намират в безкрайно плътна среда с безкраен показател на пречупване. Скоростта на фотона не зависи от неговата енергия, а от средата в която се движи. Във вакуум скоростта му е ( $c$ ), а в среда с показател на пречупване ( $c/n$ ).

-Гравитон - тази частица се приема, че е квант на гравитацията, който се отделя при елементарното възбуждане на гравитационно поле, както фотонът е кванта на светлината.

-Хигс Бозон - тази частица е фундаментална за цялата теоретична физика тъй като тя може да обясни странното поведение на материята на квантово ниво и да премахне бариерните разлики между квантовата механика и теорията на

относителестта. През 1964, Питър Хигс предлага хипотезата, че навсякъде в пространството съществува поле (поле на Хигс) и всички елементарни частици освен фотоните и глюоните взаимодействат с него. В резултат на това взаимодействие частиците получават маса. Ако бъде открит този бозон би могло да се обясни как частиците без маса могат, да създават маса в материята. Бозон на Хигс също попада във групата на виртуалните частици с живот около  $10^{-23} s$ . В Стандартния модел, Хигс Бозонът няма спин, електричен заряд или цветен заряд. На 4 юли 2012 два отделни екипа в адронният колайдер, обявяват, че всеки независимо е доказал съществуването на непознатата до сега частица с маса между 125 и 127  $GeV/c^2$ , която подозират, че е Хигс Бозонът чието поведение до декември 2012 съвпадало близо с това на бозона в Стандартния модел. Означението му е  $H^0$  и все още не е потвърдено със сигурност неговото съществуване.

\*Цветните заряди са свързани със силните взаимодействия, те са 6 на брой червен, син, зелен, античервен (синьо-зелен), антисин (жълт), антизелен (пурпурен)

\*\*Според Квантовата Хромодинамика всеки обект, който има цветен заряд различен от 0 – не може да бъде наблюдаван в свободно състояние. Това свойство се нарича конфаймънт. Те са затворени в безцветните адрони. Ето потвърждение за тяхното съществуване е чрез наблюдение на струи от адрони с общо начало. В детекторите за елементарни частици винаги се наблюдават поне две струи. Отчитайки и закона за запазване на импулса индиректно се наблюдават обектите кварки. Кварките взаимодействат чрез цветните взаимодействия.

**Лептон** – това е елементарна частица, която не влиза в силни взаимодействия. Лептоните имат половин спин и притежават заряд 1, 0 или -1. Това са семейство частици различни от бозоните и кварките. Заедно с кварките те се групират в групата на фермионите.

Наименованието на лептоните идва от гръцки, със значение малък, тънък. Това название е характеризирало лептоните до момента на откриването на лептона таон, който има маса почти два пъти по-голяма от тази на протона.

*Видове лептони:* има 12 вида лептони от които 6 са антилептоли. Групират се в три поколения.

- Първо поколение: електрон, електронно неутрино.
- Второ поколение: мюон, мюонно неутрино.
- Трето поколение: таон, тау-неутрино.

Лептоните имат заряд определян от това дали са частици или античастици, а всички неутрино (дори антинеутрино) имат

заряд 0. Като цяло номерът на лептоните от едно поколение остава същият, когато частиците си взаимодействат. Лептоните нямат големина – радиусът им е равен на 0. За сега се приема, че нямат вътрешна структура и не са съставени от по-малки частици.

Таблица на лептоните:

Частици със заряд			
Име	Символ	Заряд	Маса $MeV/c^2$
Електрон	$e^-$	-1	0,511
Позитрон	$e^+$	+1	0,511
Мюон	$\mu^-$	-1	105,6
Антимюон	$\mu^+$	+1	105,6
Таон	$\tau^-$	-1	1777
Антитаон	$\tau^+$	+1	1777
Частици без заряд			
Е-неутрино	$\nu_e$	0	< 0,003
Е-атинеутрино	$\bar{\nu}_e$	0	< 0,003
М-неутрино	$\nu_\mu$	0	< 190
М-атинеутрино	$\bar{\nu}_\mu$	0	< 190
Тау неутрино	$\nu_\tau$	0	< 18200
Тау-атинеутрино	$\bar{\nu}_\tau$	0	< 18200

Спинът на елементарните частици се изразява като единици  $\frac{h}{2\pi}$

Спинът на лептона е  $\frac{1}{2} \frac{h}{2\pi} = \frac{1}{2} \hbar$ .

Върху лептона действат 3 от 4-те фундаментални сили, които определят поведението на всичко във вселената – без тази, която задържа частиците на ядрото (силни взаимодействия). Заредените лептони, тъй като имат маса, се повлияват от гравитацията. Неутриното имат или никаква, или много малка маса, така че гравитацията (ако въобще им влияе) ги повлиява твърде слабо. Всички електромагнитни сили влияят на лептоните (без неутриното).

**Дефект на масата** – дефектът на масата се изразява в това, че общата маса на ядрото на даден елемент е по-малка от сбора на масите на съставлящите го нуклеиди. Дефектът на масата се изразява най-добре чрез популярното уравнение на Айнщайн, което дава връзка между маса и енергия, което ще рече, че разликата в масите на всъщност е заради енергията

на свързване от силните взаимодействия съществуващи в ядрата на атомите. За да можем да разделим атома трябва да внесем енергия по-голяма от тази на свързване. При което разделяне ядрото се разпада и се освобождава енергията на свързване. Която може да бъде отдадена във вид на лъчение. Тъй като всичко във вселената се стреми към по стабилно енергетично ниво нестабилните ядра отделят енергия във вид на лъчение. Способността на атомите да излъчват енергия при разпад се нарича радиоактивност.

Определението за радиоактивност е способността на атомните ядра на нестабилни изотопи на химични елементи до се превръщат спонтанно в ядра на други химични елементи, при което се излъчва енергия във формата на електромагнитно лъчение или частици - например алфа-частици, бета-частици или гама-лъчи.

Алфа частица е хелиево ядро :  ${}^4_2\text{He}^{2+}$

Бета частица е:  $\beta^{\pm}$  положителния бета разпад е с отделянето на позитрон отрицателния с отделянето на електрон.

Гама лъченията е отделянето на електромагнитно лъчение с дължина на вълната в порядъка  $10^{-5} \text{ nm}$

#### Елементарни частици в енергетиката:

Ядрената реакция е взаимодействие на елементарна частица с ядро или ядро с ядро в следствие на което или се получава ново ядро от по-висок ред, като излъчва ел.магнитни лъчения или частици, за да достигне по-изгодно енергетично ниво или частицата се разпада в ядра на други химични елементи от по-нисък ред, при което се излъчва енергия във формата на електромагнитни лъчения или частици.

Ядрената енергетика се основава на деленето на изотопите на уран 235, който е най-тежкия естествен елемент на планетата, всички останали елементи с пореден номер по-голям от на урана са получени при ядрена реакция.

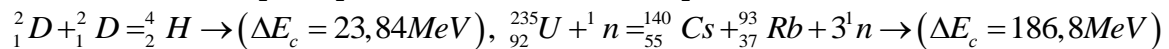
Принудителното делене (разпадане) на ядра е пряко отнесено към тяхната енергия на свързване (ядрените сили).

Ядрената сила е силно взаимодействие на малки разстояния между нуклеидите (протони, неутрони), без да се влияе от заряда им, което показва че е в пъти по-голяма от силите на колоново отблъскване. Ядрената енергия, която използваме е именно освободената енергия на свързване. Деленето на тежките ядра става чрез бомбардиране на ядрото с неутрон, който нарушава равновесното състояние на ядрото в следствие на, което или то се разпада и отделя част от енергията си на свързване тъй като новополучения елемент е от по-нисък ред и има по-малка енергия на свързване. Или получаваме нов изотоп от по-висок ред. Отделената енергия при контакт с



материята се превръща в топлина, която ние полезно използваме, също така при деленето се генерират неутрони, които поддържат верижна реакция на делене 1 неутрон за 1 ядро. Радиоактивните елементи отделят спонтанно неутрони, но с много висока енергия, което ще рече, че е по-малка вероятността те да взаимодействат с ядро, поради което се добавя забавител в който те да отдадат енергията си и така се увеличава шанса за ядрено делене, но при неконтролируема реакция, при която излишните неутрони не се поглъщат деленето на ядрата нараства в геометрична прогресия и отделената енергия става колосална при което се получава ядрен взрив. Ядрената безопасност и радиационната защита се поставят на първо място и отделените средства за подсигуриране и безопасност повишават многократно цената на получената енергия от делене.

Енергията на бъдещето е свързана с ядрения синтез – това е ядрена реакция между леки ядра при която получаваме ядро ново ядро от по висок ред. Отново енергията на свързване играе важна роля. Ядрения синтез е естествения енергоизточник на всички звезди във вселената при който те „изгарят“ водород и получават хелий при изключително екстремни условия за пример във ядрото на слънцето. Енергията от термоядрен синтез е чиста, тъй като няма радиоактивно разпадане и няма вредни емисии и енергията, която се генерира е много по голяма от тази при деленето. За пример ще дам следните реакции.



На пръв поглед енергията на свързване при делене е много по-голяма от тази на синтеза, но отнесено към броя на

$$\text{нуклеидите } \frac{\Delta E_c}{A} \Rightarrow \left( \frac{\Delta E_c}{A} \right)_{He} = \frac{23.84}{4} = 5,96 MeV, \quad \left( \frac{\Delta E_c}{A} \right)_U = \frac{186.8}{235} = 0,8 MeV$$

Необходима ние е огромна енергия за да свържем водородните атоми и е невъзможно да създадем огромното налягане в слънцето единствения ни шанс е да компенсирате с температура при което е възможно да се повиши енергията на водородните атоми. Температурата на плазмата достига 10-ки милиони градуси, което създава проблем при задържането и. Плазмата се създава посредством многократно пречупване на лазерен лъч при което се увеличава многократно мощността му. Съществуват множество от възможни самоподдържащи се ядрени реакции на синтез, дори и анеутронни реакции, които елиминират напълно шанса от делене, но тяхната реализация може би ще бъде възможна в близките 50-100 години.

С напредването на теоретичната физика и експериментите в ускорителите светът на елементарните частици става все по-голям познати са повече от 2000 вида елементарни частици, които според модерната физика (М-теорията) са просто вибрация на супер струни с различна честота в пространството и че целия ни заобикалящ свят е една симфония започваща от несигурния и динамичен квантов свят до дълбините на необятния космос.