



ХИГСОВИОТ БОЗОН – АЛКА КОЈА НЕДОСТАСУВАШЕ

Наце Стојанов

1. ВОВЕД

Самиот факт што оваа година Нобеловата награда за физика е доделена на Петер Хигс и Франсоа Енглер за првичните истражувања на Хигсовиот бозон, ни кажува дека станува збор за извонредно големо откритие кое може да се спореди со Ајнштајновата теорија на релативност или теоријата за Биг Бенг, на пример. Важноста на Хигсовиот бозон е дотолку поголема што тој има улога на „волшебно стапче“ кое овозможило „материјализација“ на физичките тела во Вселената кои без него, верувале или не, би немале маса!

Објаснувањето на влијанието на Хигсовиот бозон бара квантно-механички приод според кој „нештата“ во микросветот се квантизирани или се мерат во стриктно дефинирани „порции“ наречени кванти. Така на пример орбиталниот момент на честиците L е квантна величина која зависи од орбиталниот квантен број l кој е ненегативен цел број или $l = 0, 1, 2, \dots$

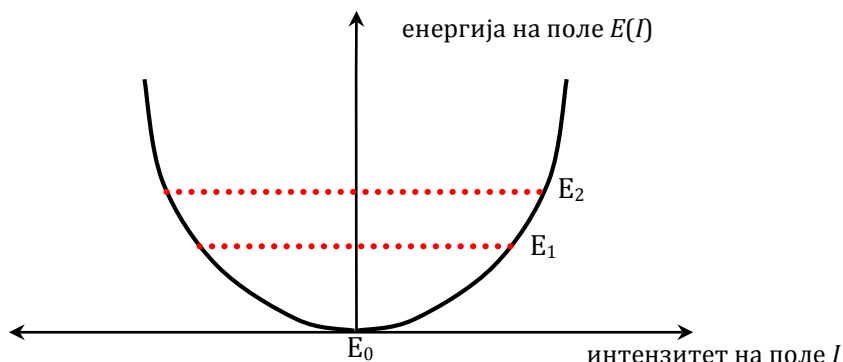
Квантните својства не се карактеристични само за честиците туку и за физичкото поле кое се објаснува како состојба на просторот која го определува неговото однесување во форма на електрично поле, магнетно поле или гравитационо поле. Затоа се вели дека просторот е „исполнет“ со физички полиња.

На пример, вакуумот не се опишува како празен простор туку простор во состојба на најмала можна енергија. Ова значи дека состојбата на вакуум може да биде нарушена ако се зголеми вредноста на некое физичко поле, што значи дека енергијата на просторот зависи од интензитетот на физичките полиња. Енергетските ексцитации на физичкото поле, прикажани на слика 1, всушност се честици кои се квантно-носители на даденото поле.

Најмалата можна енергија на полето $E_0=0$ е состојба на празен простор и е физички не интересна, додека состојбата со енергија E_1 , на пример, како прва возбудена состојба на полето го означува вакуумот за тоа поле. Може да се каже дека вредноста на правата ексцитирана состојба E_1 зависи од видот на физичкото поле, односно таа е различна од случај до случај па затоа и квантите-носители на полињата се различни видови на честици.

Дискретните вредности на енергетските состојби на физичките полиња може да се поистоветат, на пример, со дискретните вредности на орбиталниот момент на честиците. Како пример да го земеме електричното поле и електричниот полнеж на честиците кој истотака има целобројна вредност $q = \pm e, \pm 2e \dots$. Познато е дека

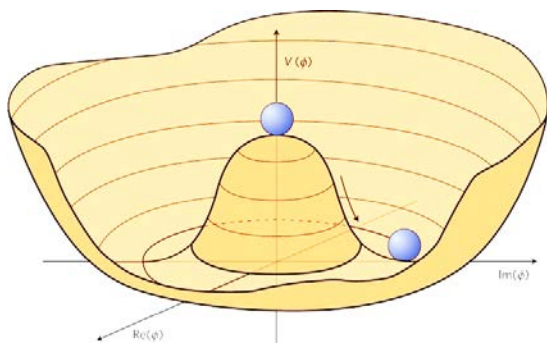
електронот и протонот имаат ист единечен електричен полнеж, но со различен знак секако.



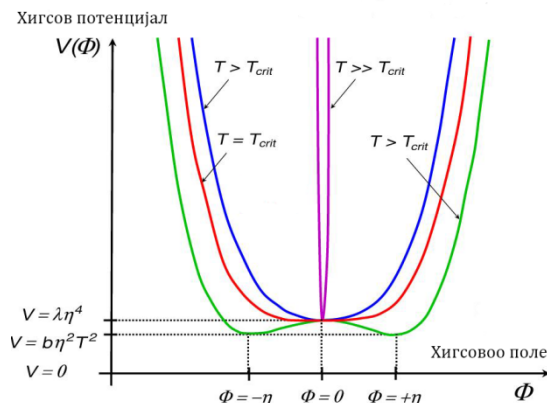
Сл. 1. Зависност на енергијата на полето од неговиот интензитет.

Според претходната аналогија, електричниот полнеж кој е лоциран во обичниот простор локално во една честица, всушност е резултат на енергетските ексцитации на електричното поле во просторот на физичките полиња. Дискретните вредности на енергетските нивоа на електричното поле предизвикуваат дискретни вредности на електричниот полнеж кај честиците. Грубо кажано, електричниот полнеж на честиците е резултат на „некакво кружно движење“ во просторот на физичкото поле.

Зависноста на енергијата на полето (честиците) од интензитетот на физичкото поле може да има и друга форма, на пример како на слика 2. Оваа форма е позната како „сомбреро потенцијал“.



Сл. 2а. Сомбреро потенцијал.



Сл. 2б. Зависност на потенцијалната енергија на Хигсовото поле од неговиот интензитет.

Сомбреро потенцијалот е физички многу важен случај затоа што минималната енергија на потенцијалот се достигнува кога интензитетот на полето е $\phi \neq 0$! Ова значи дека кога $\phi = 0$, слика 2а, полето има некоја енергија $V(\phi) > 0$ заради која даден физички систем се наоѓа во лабилна состојба па затоа спонтано преминува во стабилна состојба со $U(\phi)=0$, но интензитетот на полето тогаш е $\phi \neq 0$! Од сето ова

би заклучиле дека е можно „некакво движење“ во даден систем и кога енергијата на полето е нула. Физичкиот систем кој се наоѓа во ваква состојба се вика *кондензат* и експериментално е докажано неговото постоење кај суперспроводниците. Во состојба на кондензат се и носителите на фундаменталите сили (полиња).

2. ВЛИЈАНИЕ НА ПОЛИЊАТА ВРЗ МАСАТА НА ЧЕСТИЦИТЕ

Добро е познато, но би додал и до скоро не докажано!, зошто елементарните честици имаат маса која може да се движи во интервалот $0 \leq m \leq M_p$ каде што граничната вредност $M_p = 2,176 \cdot 10^{-8}$ kg е позната како Планкова маса што всушност ја одредува максималната маса на една честица која што може да предизвика создавање на микро црна јама.

Исто така, е познато дека масата на елементарните честици е околу 10^{-17} пати помала од Планковата маса, па се поставува прашањето зошто границите на можната вредност на нивната маса m_0 се толку големи? Еден од можните одговори е дека природата на експериментите за детекција на масата на честиците m_0 побарува значително поголема енергија на сноповите од честици, $E > E_0 = m_0 c^2$, кои се судираат во акцелераторите за да се определи m_0 . Или накратко кажано, во светот на елементарните честици важи правилото: вложуваме повеќе за да детектираме помалку!

Елементарните честици, според вредноста на спинот, се поделени во две групи: *фермиони* и *бозони*. Во табелата подолу набројани се некои од нив.

фермиони		бозони	
електрон	e^-	фотони	γ
позитрон	e^+	глуони	g
неутрино	ν	бозони	W, Z, H
кваркови	q		

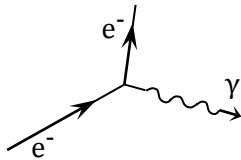
Сега ќе поставиме едно тврдење кое неколку децении ги измачувало научниците во областа на елементарните честици, кое гласи: *Без разлика на тоа дали станува збор за фермиони или бозони, може да се каже дека елементарните честици во рамките на Стандардниот модел немаат маса, затоа што постоењето на Хигсовиот бозон H не било експериментално докажано!*

Ова тврдење секако дека треба да се земе условно. Фактите отсекогаш зборувале дека елементарните честици имаат маса, иако многу мала, но теоријата која требало да објасни зошто имаат маса имала голем недостаток а тоа е експерименталниот доказ за постоењето на Хигсовиот бозон H кој бил носител на масата.

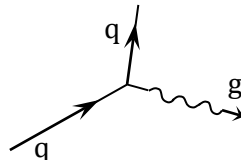
За да видиме како Хигсовиот бозон ја „дефинира“ масата на честиците ќе се задржиме на фактот дека секое заемодејство во природата има свое поле односно свои носители. Така на пример, електроните и протоните заемодејствуваат со околните наелектризирани тела со измена на γ -кванти, што е прикажано на слика 3а. Од друга страна, кварковите иако се наелектризирани не заемодејствуваат преку γ -кванти туку со измена на глуони g , слика 3б. Треба да се има предвид дека електроните и неутрината, иако едните се наелектризирани а другите не се

наелектризирани, може да заемодејствуваат и преку измена на едни од носителите на електрослабата сила а тоа се Z-бозоните, како што е прикажано на слика 3в.

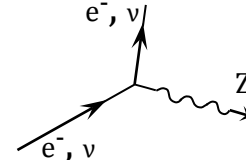
Од претходно кажаното, општ е заклучокот дека сите фермиони заемодејствуваат преку полиња чии носители се некакви бозони, а истотака, заемодејството меѓу честичите може да влијае врз нивната маса!



Сл. 3а.

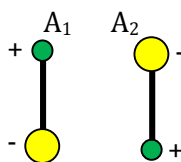


Сл. 3б.

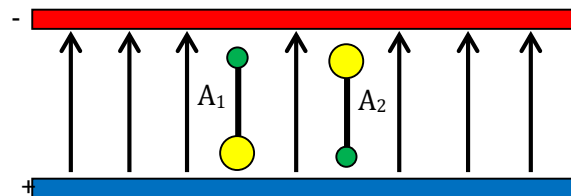


Сл. 3в.

Еве еден пример како физичкото поле може да влијае врз масата на честичите. Да ја земеме како пример молекулата на водата H_2O која е електрично поларизирана и се претставува како електричен дипол, слика 4а.



Сл. 4а.



Сл. 4б.

Кога молекулата на водата е надвор од електрично поле, масата не и зависи од ориентацијата во просторот што значи дека молекулите A_1 и A_2 кои што се исти но имаат различна ориентација во просторот ќе имаат иста маса, $M_1 = M_2$. Ситуацијата се менува драстично кога овие две молекули ќе ги поставиме во хомогено електрично поле, како на слика 4б. Тогаш, заради електростатското заемодејство на молекулите со електричното поле, молекулата A_1 ќе има помала енергија од молекулата A_2 , $E_1 < E_2$, а причина за тоа е различната ориентација на диполот во електричното поле.

Имајќи предвид дека масата на честичите е поврзана со енергијата преку релацијата $E = mc^2$, може да заклучиме дека во овој случај важат релациите

$$\begin{aligned} E_1 &= m_1 c^2 \\ E_2 &= m_2 c^2 \rightarrow m_1 \neq m_2, \end{aligned}$$

што се резултат на влијанието на електростатското поле врз масата на честичите. Ова ни укажува на можноста да некое друго поле можеби има способност да ги „материјализира“ елементарните честичи, па затоа треба подетално да одговориме на прашањето како полето влијае врз масата на честичите.

Во рамките на Дираковата теорија, спинот на честичите е многу важна величина која може да се дефинира како внатрешно ротационо движење на честичите. Таа е квантна величина која се изразува во единици на Планковата

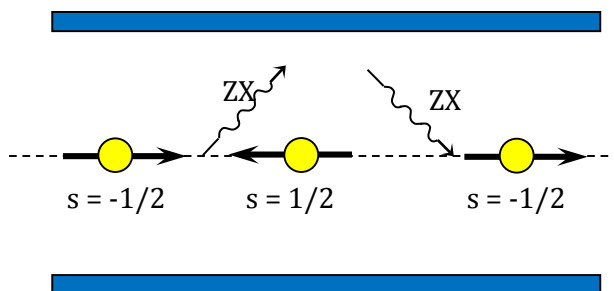
константа $\hbar = h/2\pi$. Важно е да се каже дека ориентацијата на спинот може да се промени со дадена веројатност што од друга страна зависи пропорционално од масата на честичката. Накратко, може да заклучиме дека *масата на елементарните честички зависи од нивниот спин или дека веројатноста за смена на спинот е пропорционална со масата на честичките!*

Ако ја имаме предвид Ајнштајновата релација за релативистичката маса m

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

каде што m_0 е маса на мирување на честичката, v е брзина а c е брзината на светлината, доаѓаме до заклучок дека колку масата на честичката m_0 е поголема, толку максималната брзина на честичките им се намалува, а со брзина на светлината може да се движи само тело кое нема маса на мирување а тоа е фотонот или γ -квантите. Затоа, веројатноста за смена на спинот а со тоа и на масата на фотоните е еднаква на нула, додека кај електроните, на пример, кои имаат маса на мирување постои некоја веројатност за смена на спинот а со тоа и за промена на неговата маса.

За да видиме како спинот влијае врз масата, да се вратиме на сликата 3в, и да се потсетиме дека таа опишува како електроните и неутрината заемодејствуваат со други честички преку измена на Z бозони. Овие честички се електронеутрални, но имаат друг вид на полнеж наречен слаб хиперполнеж кој како величина се запазува $Q_Z = const$. Електроните што имаат спин $+1/2$ имаат слаб хиперполнеж $Q_Z^+ = -2$, додека електроните се спин $-1/2$ имаат слаб хиперполнеж $Q_Z^- = -1$. Од ова може да заклучиме дека промената на спинот всушност ја променува и вредноста на хиперполнежот што значи дека ќе се наруши законот за зачувување на слабиот хиперполнеж бидејќи како величина тој секогаш мора да има константна вредност.



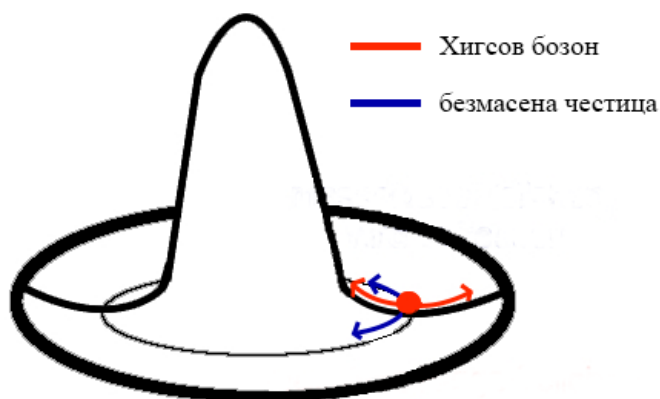
Сл. 5. Спонтана промена на спинот со посредство на ZX -бозони.

Секако дека до нарушување на законот за зачувување на слабиот хиперполнеж не доаѓа затоа што промената на спинот на електронот е пропратена со емисија или апсорпција на интермедијални ZX -бозони кои имаат сопствен слаб хиперполнеж. Во групата на ZX -бозони припаѓаат и веќе спомнатите Z бозони но и W^\pm бозоните кои со заедничко име се познати како носители на електрослабото заемодејство. Од претходно кажаното следи дека ZX -бозоните ја овозможуваат спонтаната промена на спинот на честичките што како процес шематски е прикажан на слика 5.

Значи при секоја промена на спинот од s^- во s^+ слабиот хиперполнеж на електронот се променува за -1 , што е резултат на емисија на еден ZX бозон од страна на електронот и апсорпција на овој бозон од страна на кондензатот (полето). На тој начин, вкупната вредност на слабиот хиперполнеж останува непроменета, $Q_Z = const$. Спротивно на ова, кога имаме промена од s^+ во s^- состојба на електронот, слабиот хиперполнеж на електронот се променува за $+1$ што е проследено со тоа да електронот апсорбира еден ZX -бозон од кондензатот, така што повторно $Q_Z = const$. Ваквата карактеристика на ZX -бозоните како интермедијални честици ни кажува дека тие постојат исклучиво во состојба на кондензат што значи дека се носители на некакво заемодејство (поле).

3. УЛОГАТА НА Н-БОЗОНОТ

Сега, може да го разјасниме и прашањето за тоа какво е улогата на Н-бозонот во процесот на „материјализација“ на елементарните честици. За таа цел, најпрво да ја погледнеме сликата 6.

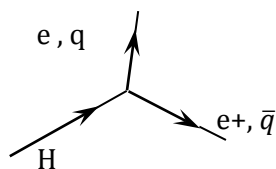


Сл. 6. Сомбреро потенцијал.

Кружното движење по минимумот на сомбреро потенцијалот означен со сина боја ни кажува дека станува збор за поле чии носители на заемодејство како кондензат се безмасени бозони. Но, освен фотоните, сите други честици имаат маса, па затоа монотоното движење по минимумот треба да се наруши со некакви осцилации на полето околу потенцијалниот минимум означени со црвена боја на слика 6. Овие осцилации се всушност Н или Хигсовите бозони. Кога осцилациите се во насока кон лево од минимумот тогаш имаме намалување на густината на Хигсовото поле, а кога осцилацијата се кон десно од минимумот имаме зголемување на густината на Хигсовото поле. На тој начин, овие осцилации овозможуваат промена на густината на Хигсовото поле што резултира различно заемодејство со елементарните честици. Секоја честица заемодејствува со Хигсово поле со стриктно определена густина па затоа масите на честиците се различни.

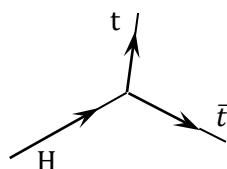
На крај, да видиме зошто Хигсовиот бозон е откриен многу тешко и тоа речиси педесетина година после неговото теориско предвидување во 1964 година. Најпрво да ја разгледаме шемата за можен распад на Н-бозонот што е прикажана на слика 7. Според неа, Хигсовиот бозон може да се распадне на пар електрон и позитрон, но и

на пар кварк антикварк. Ова значи дека со подеднаква веројатност H-бозонот може да се креира од истите парови на честици и анти честици. Единствена пречка е техничката не можност денес да се создадат снопови од електрони и позитрони кои ќе имаат доволно голема енергија за тој процес.



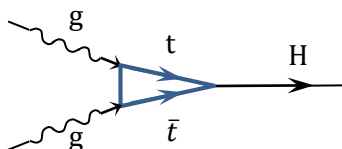
Сл. 7. Можен распад на Хигсовиот бозон.

Да разгледаме друг процес на распаѓање на H-бозонот, што е прикажан на слика 8. Според него, H-бозонот се распаѓа на пар топ кварк t и анти топ кварк \bar{t} . Веројатноста за овој процес е значително поголема од претходната шема, но слаба страна е тоа овие честици се распаѓаат многу брзо и многу ретко се среќаваат за да може успешно да се изведе експеримент.



Сл. 8. Можен распад на Хигсовиот бозон.

Како најпогодната шема за создавање на H-бозони е онаа прикажана на сликата 9, каде се започнува со судирање на два високоенергетски снопа на глюони.



Сл. 9. Шема за создавање на Хигсов бозон.

Од пред неколку години, во најголемиот центар за истражување на високоенергетски јонски снопови ЦЕРН лоциран на тромеѓето помеѓу Швајцарија, Франција и Италија, може да се произведат глюонски снопови со доволно висока енергија индиректно преку судирање на протонски снопови со енергија од 7 TeV. Протоните се околу 2000 пати потешки од електроните и затоа полесно може да ја достигнат потребната енергија. Истотака, познато е дека протоните се составени од кваркови и антикваркови а во заедница како стабилна цестица ги држат глюоните. експериментите потврдиле дека околу 50% од масата на протонит всушност потекнува од кинетичката енергија на глюоните. Значим ако забрзаеме протониски снопови до всушност добиваме и високоенергетски снопови од глюони!

Само ќе спомнам дека токму шемата од слика 9 е искористена за определување на масата на H-бозонот и тоа во два независни експерименти направени на детекторите ATLAS и CMS во ЦЕРН. резултатите од мерењата покажувале колема сличност но најпосле како средна вредност за масата на H-бозонот е земено да биде $126 \text{ GeV}/c^2$.
