

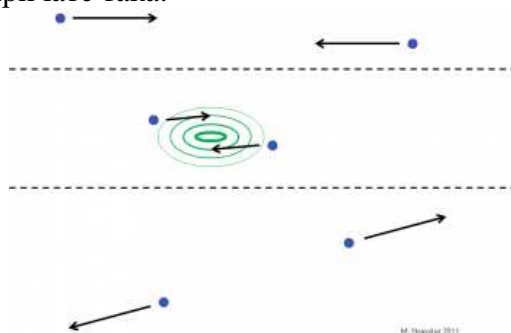
Какво представляват виртуалните частици?¹

М. Щраслер

Терминът “виртуална частица” е безкрайно объркващ и объркан както за обикновените хора, така и за учените–неспециалисти. Прочел съм много популярни книги (да, и аз бях неспециалист, и помня, когато 16-годишен четях за тези неща) и във всички тях се пишеше за виртуални частици, но в нито една не намирах обяснение за какво всъщност става дума. Ето защо ще опитам един друг подход за обясняването им.

Вярвам, че най-добрият начин да разберете това понятие е да забравите, че сте виждали думата “частица” в този термин. Една виртуална частица въобще не е частица. Терминът се отнася за едно смущение на дадено поле, което смущение **не** е частица. Истинската частица представлява хубав, правилен гребен в дадено поле, такъв, който може да се разпространява плавно и без усилие в пространството, подобно на разпространението във въздуха на ясен камбанен звън. “Виртуалната частица”, общо казано, е смущение на полето, което само по себе си никога не може да бъде регистрирано, като вместо това представлява нещо, което е предизвикано от присъствието на други частици, често – частици на други полета.

Аналогия (много близка в математическо отношение): представете си детска люлка. Ако я тласнете и я оставите, тя ще се люлее напред–назад с период, който е един и същ, независимо от това, колко силно сте я тласнали². Това е **естественото движение** на люлката. Сравнете сега това регулярно, гладко, постоянно движение напред–назад с онова, което би се случило, ако започнете да тласкате многократно люлката в течение на един неин период. В този случай люлката ще започне да се друсва неравномерно, извършвайки много **неестествено движение**, и въобще няма да се люлее гладко. Бедното дете върху люлката ще ви бъде много сърдито, тъй като ще изпитва неприятностите, предизвикани от новия начин на движение. Това неприятно, друсашо движение – това смущение в движението на люлката – е различно от естественото и предпочитано нейно регулярно движение напред–назад точно така, както едно **смущение** “виртуална частица” се различава от една реална **частица**. Ако нещо представлява реална частица, тази частица може да се разпространява самостоятелно през пространството. Ако обаче нещо представлява смущение, това смущение ще отмре, или ще се разпадне, щом неговата причина изчезне. Така че то въобще не прилича на частица и аз не бих искал вие да го наричате така.



Фиг. 1: Два електрона се движат насрещно; те създават смущение в електромагнитното поле (полето на фотоните), това смущение ги отблъсква и техните пътища се закривяват навън. Казва се, че те “обменят виртуални фотони”, но това е просто жаргон.

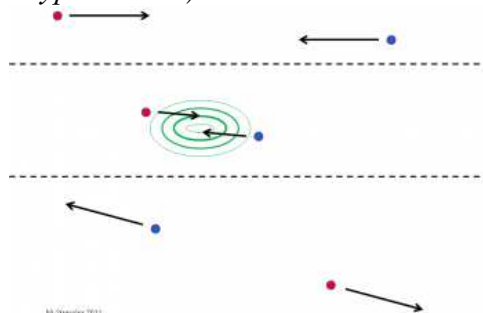
Например, електронът е реална частица, гребен в полето на електроните; така да се каже, вие можете да го държите в ръката си; вие можете да получите сноп от електрони и да ги насочите през стаята, или вътре в една вакуумна телевизионна тръба. Фо-

¹ Превод от сайта на SciAm.

² Разбира се, стига амплитудата на люлеене да остане в рамките на това, което наричаме “малки ъгли”. (Бел. прев.)

тонът също е реална, светлинна частица, гребен в електромагнитното поле и вие можете да получите лъч от фотони (както в лазера). *(Не можете обаче да го държите в ръка, тъй като фотоните (във вакуум) винаги са в движение.)*

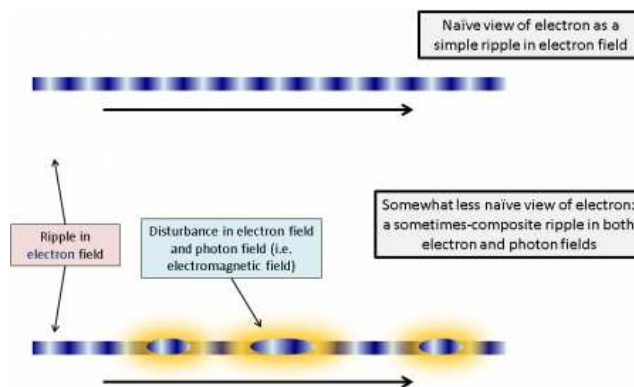
Ако обаче два електрона минават близо един до друг, както на фиг.1, заради наличието на техните заряди те ще внесат смущение в електромагнитното поле, наречено понякога фотонно поле, тъй като фотоните представляват гребени в това поле. Това смущение, изобразено на фигурата схематично в зелено, не е фотон. То не е гребен, движещ се със скоростта на светлината; общо казано то въобще не е гребен и не е длъжно да се движи с някаква скорост. То всъщност не е никак мистериозно, защото представлява нещо, чиито детайли, ако знаем началното движение на електроните, може лесно да пресметнем. Точно *същите уравнения, които описват фотоните, описват и как действат тези смущения*; фактически, уравнението на квантуваните полета гарантира, че **щом в природата може да съществуват фотони, може да съществуват и тези смущения**. Вероятно неуместно, този тип смущения, чиито детайли могат да варираят съществено, по исторически причини са наречени “виртуални частици”, а това ги прави както по-мистериозни, така и по-подобни на частици, отколкото е необходимо. *(Студентите по математика и физика ще разпознаят реалните фотони като решения на вълновото уравнение, а виртуалните фотони – като свързани с Гриновата функция, асоциирана с това уравнение.)*



Фиг. 2: Както на фиг. 1, но тук за един позитрон и един електрон; в случая едно малко по-друго смущение предизвиква привличане между частиците и техните траектории се закривяват в противоположни посоки.

Това смущение е важно, тъй като силите, с които два електрона си взаимодействат – силите на отблъскване между двете частици с еднакви електрични заряди – се пораждат от смущението. (Същото е в сила и ако електрон и позитрон минават близо един до друг, както на фиг. 2; в този случай по вид смущението е подобно, но детайлите са различни и в резултат имащите противоположни по знак електрични заряди частици се привличат.)

Физиците често казват, а популярните книги повтарят, че двата електрона *обменят виртуални фотони*. Това обаче са само думи и те водят до много обърквания, ако започнете да си представяте думата “обмяне” като означаваща, че електроните си подхвърлят напред–назад фотони, така както две деца могат да си подхвърлят топка. Не е трудно да си представим, че подхвърляне на топки може да създаде отблъскване, но как то би могло да създаде привличане? Проблемът се дължи на факта, че интуицията, възникваща от думата “обмен” просто има твърде много недостатъци. За да разберете същността, ви е необходима твърде малко математика, но пък и съвсем без математика, за нещастие, е невъзможно. Според мен, за да разбере и лайкът, че електромагнитното поле е смутено по някакъв начин, е по-добре да забрави термина “виртуален фотон”, който по същество вместо яснота, внася повече объркване, и да повярва, че **трябва да се направят определени пресмятания**, за да се видим как смущението, предизвикано от два електрона, води до взаимното им отблъскване, докато смущението, предизвикано от електрон и позитрон е различно и предизвиква привличане.

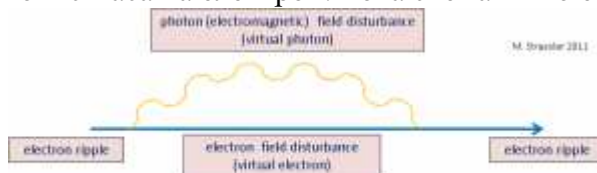


M. Strassler 2011

Фиг. 3: Един електрон наивно можем да си представим като гребен с минимален интензитет – минималният гребен – в електронното поле. Той обаче взаимодейства с полето на фотоните (т.е. с електромагнитното поле) и може да създаде смущение в последното; в резултат и електронът престава да бъде обикновена частица и става едно по-общо смущение. Комбинацията от двете смущения (т.е. двете “виртуални частици”) остава частица с енергията, момента и масата на налитания електрон.

Всъщност съществуват много смущения на полетата от друг тип, които не са частици. Друг пример, от гледна точка на науката един от най-важните, се проявява в самата природа на частиците. Една частица не е толкова проста, колкото аз наивно представих. Простото твърдение, че *частица като електрона представлява гребен в полето на електроните*, е само приближение и понякога фактът, че то не е точно, има своето значение.

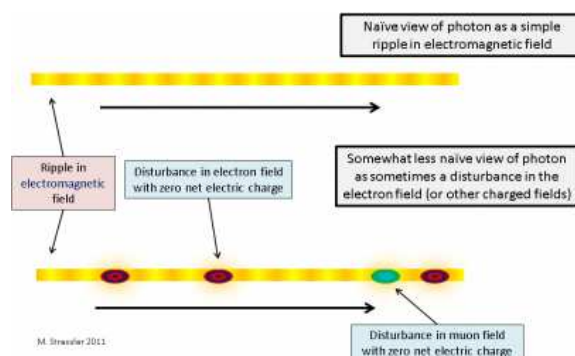
Оказва се, че доколкото електронът има електричен заряд, самото негово присъствие смущава електромагнитното поле около него, така че **електроните прекарват част от времето като комбинации от две смущения – едно на електронното поле, и едно – на електромагнитното поле**. Смущението в полето на електрона не представлява частица електрон, а смущението във фотонното поле не е частицата фотон. Комбинацията от двете обаче представлява точно един хубав гребен, с добре определени енергия и импулс, както и с маса на електрон. Това схематично е представено на фиг. 3.



M. Strassler 2011

Фиг. 4: Файнмановата диаграма, необходимо за пресмятане на процеса от фиг. 3. Казва се: “електронът излъчва и поглъща виртуален фотон”, но това е просто съкратен израз за физиката, показана на фиг. 3.

Езикът, който използват физиците в случая, е следният: “Електронът може да се превърне във виртуален фотон и виртуален електрон, които след това се превръщат обратно в реален електрон”. И рисуват Файнманова диаграма, която изглежда като на фиг. 4. Но това, което те наистина имат предвид, е всъщност описаното от мен в предходния абзац. Всъщност Файнмановата диаграма представлява средство за пресмятане, а не картина на физично явление; ако вие искате да пресметнете колко голям е този ефект, вземете диаграмата, преобразувайте я според правилата на Файнман в математичен израз, правите съответните пресмятания с молив и хартия и получавате отговора.



Фиг. 5: Както фиг. 3, но за фотон. Фотонът може да стане смущение в електронното поле. Това смущение има области с отрицателен електричен заряд, както и области с положителен електричен заряд, като общият заряд остава нула, както е в самия налиташ фотон. Фотонът може да прави същото с други заредени полета, например - мюонното поле.

Друг пример представлява самият фотон. Той не е просто гребен в електромагнитното поле, а прекарва част от времето като смущение в електронното поле, такова, че комбинацията остава безмасова частица. Прието е да се казва, че фотонът може да се превърне във виртуален електрон и виртуален позитрон, които обратно да се превърнат във фотон. Смисълът обаче е както и преди – че електронното поле се смущава от фотона. Защо обаче виждаме позитрон – за сега ние говорихме само за електронно поле? Причината е в самото съществуване на античастиците: всяко поле, по самата си природа, притежава гребени–частици, и гребени–античастици. За някои полета (например за фотонното поле и за Z -полето) тези гребени на частици и гребени на античастици всъщност са едно и също нещо; но за полета като тези на електроните и кварките, частиците и античастиците са съвсем различни. Така че онова, което се случва когато електронното поле е смутено от преминаващ фотон, всъщност представлява смущение, съставено от електроноподобно смущение с общ отрицателен електричен заряд, и някакво позитроноподобно смущение с общ положителен заряд, но общото смущение, като цяло, подобно на самия фотон, е електронеутрално.

За тези, които са учили (и си спомнят нещо от) гимназиалната физика, ставащото може да се обясни с факта, че променливото електромагнитно поле, което представлява фотонът, поляризира електронното поле – индуцира диполен момент. Помните ли диелектриците и как електричните полета могат да ги поляризират? Е, вакуумът на празното пространство, понеже съдържа електронно поле, е поляризуема среда – определен вид диелектрик.

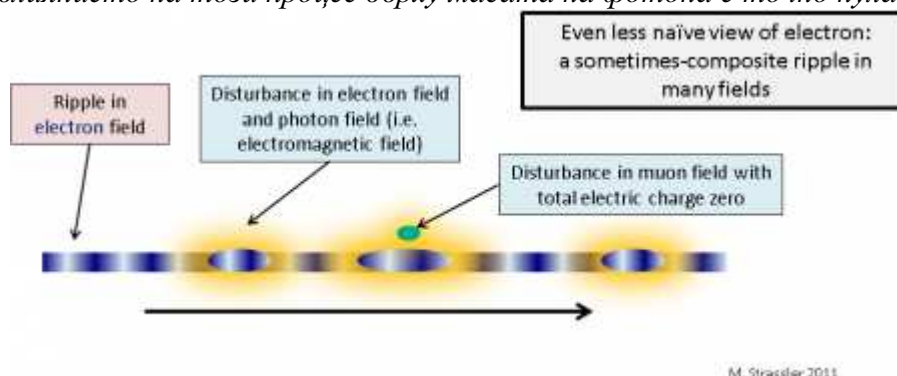


Фиг. 6: Файнмановата диаграма, необходимо за пресмятане на процеса от фиг. 5. Казва се: “фотонът се превръща във виртуална електрон–позитронна двойка” – кратък израз за физиката, показана на фиг.5.

Между другото, същото е вярно за всички други полета на частици с електричен заряд, включително тези на мюона, горния кварк и т.н.

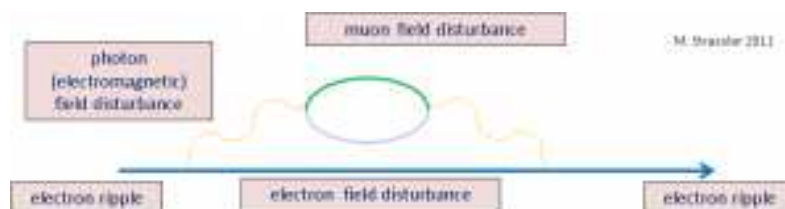
*(Тук всъщност се сблъскваме с друга причина, поради която “виртуална частица” представлява термин, който поражда проблеми. Няколко души са ме питали приблизително следното: “Щом диаграмата от фиг. 6 показва, че част от времето си фотонът прекарва като съставен от две масивни частици (спомнете си, че и електронът, и позитронът имат еднакви маси от по 0,511 MeV), защо това не придава на фотона определена маса?” Част от отговора е, че диаграмата **не показва**, че фотонът не прекарва част от времето си като съставен от две масивни частици.*

Виртуалните частици, които участват в затворения контур на тази диаграма, не са частици. Те не са обикновени гребени, а по-обща смущения. А само частиците притежават очакваната връзка между тяхната енергия, импулс и маса; по-общите смущения не се подчиняват на тези връзки. Така че вашата интуиция е просто подвеждана от погрешното тълкуване на диаграмата. Вместо това, **трябва да се проведат необходимите пресмятания** за ефекта от тези смущения. (В случая на фотона се оказва, че влиянието на този процес върху масата на фотона е точно нула.)



Фиг. 7: Електронът може да поражда смущения във фотонното поле; резултантното фотонно смущение може от своя страна да предизвика смущение в други електрически заредени полета, например в мюонното поле.

И с това се започва... Нашата картина на фиг. 3, изобразяваща електрон, по същество бе твърде опростена, тъй като фотонното смущение около електрона от своя страна предизвиква смущение в мюонното поле, като го поляризира. Това е показано на фиг. 7, а съответната Файнманова диаграма е показана на фиг. 8. Процесът продължава и по-нататък, като в по-голяма или по-малка степен се появяват възбуждания на всички полета, с които може да има преки или даже непреки взаимодействия.



Фиг. 8: Файнмановата диаграма, необходима за пресмятане на процеса, показан на фиг. 7.

По този начин научаваме, че частиците не са прости обекти, и въпреки че често наивно ги описвам като отделни гребени в дадено поле, строго погледнато това не е вярно. Само в един свят, в който не действат сили, в който частиците въобще не си взаимодействат, те представляват гребени, максимуми на едно единствено поле! Понякога тези усложнения са без значение и можем да ги пренебрегнем. В други случаи обаче те играят централна роля, така че всякога трябва да помним за съществуването им.