

## Дирак, Айнщайн и физиката Антонио Зикики<sup>1</sup>

През последното столетие нашите най-големи старания в областта на фундаменталната наука бяха насочени, без съмнение, към изследване на електромагнитното, силното и слабото взаимодействия. Въпреки че общата теория на относителността бе формулирана преди повече от 80 години, гравитацията едва сега излиза на сцената на фундаменталните физични изследвания. Това стана поради факта, че под формата на Стандартния модел във физиката на частиците най-после бе осъществено най-голямото за всички времена обединение, което описва фундаменталните взаимодействия на познатите елементарни частици. Обединението е резултат от работата на онези пръснати по целия свят физици, които са се посветили на изучаването на това, какво става когато стабилните градивни тухлички на веществото (протони, електрони и ядра) взаимодействат при все по-високи и по-високи енергии. Лабораториите, в които Стандартният модел се проверява опитно, са пръснати по целия свят и включват прочути европейски имена като ЦЕРН в Женева, DESY край Хамбург, Гран Сасо и Фраскати в Италия. Физиците от лабораторията Ферми, в Брукхайвън и Станфорд в САЩ също дадоха огромен принос, както и физиците от лабораториите в Китай, бившия Съветски съюз и Япония.

Аз вярвам обаче, че нито една от тези лаборатории днес не би съществувала, ако през 20-те години на 20. век съвременната физика бе последвала приоритетите, диктувани от Алберт Айнщайн, когато той беше на върха на своята научна мощ и слава. Постиженията на Айнщайн представляват крайна точка на класическата физика, която започна с работите на Галилео Галилеи и Исак Нютон. Всъщност, основно направление във физиката на 20. век се оказа квантовата физика.

Въпреки това, аз бях възхитен, когато разбрах, че списание “Тайм” е избрало Айнщайн за “личност на 20. век” блаодарение на ролята, която той изигра като посланик на науката по света. Онова, което ме очуди ме, обаче, бе фактът, че Айнщайн се оказа на върха на класацията на списание Physics World, направена въз основа на мненията на над 100 водещи световни физици, които го избяха за най-голям физик на всички времена.

### Относителността на репутацията

И така, защо почитта към Айнщайн е толкова голяма? Що се отнася до широката общественост, славата на Айнщайн се основава на две неговии забележителни постижения: принципа на относителността и извода, че светлинните лъчи трябва да се закривяват в гравитационни полета. Физиците, разбира се, добре познават многи други огромни приноси на Айнщайн във физиката, но дори те може да не са напълно наясно относно ролята на други физици преди него.

Наистина, личността, формулирала за пръв път принципа на относителността, е Галилей. Неговата формулировка – че “Няма значение какъв опит правите – няма да бъде възможно да откриете ефекти, които зависят от

---

<sup>1</sup> Антонио Зикики е професор по физика в университета в Болоня, говорител на колектива, работещ в Националната лаборатория в Гран Сасо по експеримента с голямообемния детектор. Директор е на проекта LAA в ЦЕРН. Настоящата статия е публикувана в рубриката “Гледна точка” на списанието Physics World през март, 2000 г. по повод края на второто и началото на третото хилядолетие.

скоростта на отправната система, стига тази скорост да е постоянна.” – е толкова добра, че тя не изключва нито една сила в природата, даже електромагнитната, за която Галилей не е знаел нищо. (Между другото, равенствата, описващи относителността, са открити преди Айнщайн от Хендрик Лоренц при изследване на електромагнетизма.) Много вероятно е също така, че Галилей е бил убеден в крайната скорост на светлината. В действителност, той е опитал да я измери, но не е успял, поради голямата ѝ стойност.

Галилей обаче успял да измери ускорението на свободното падане – въпреки голямата му стойност – благодарение на изобретяването на махалото и откриването на гравитационната сила с помощта на наклонената равнина. Измерванията на Галилей от своя страна дадоха възможност на Нютон да открие закона за гравитационното привличане, който предсказва, между другото, че един светлинен лъч може да се изкриви от гравитационната сила. (Всъщност, сравнено с направените 200 години по-късно от Айнщайн пресмятания, предсказаното въз основа на Нютоновите закони отклонение е погрешно само с множител две.)

Но колко хора са наясно за приносите на Нютон (второ място в класацията на Physics World), Галилей (шести) и Лоренц за тези забележителни открития на относителността и на ефекта, който оказва масата върху пространство-времето? Аз смятам, че е нещастие тенденцията тези две открития да се приписват изцяло на Айнщайн. Тук обаче аз бих искал да отдам възхвала на човека, който заема осмо място в класацията на Physics World – на Пол Дирак.

За да направя това, трябва още веднъж да спомена ЦЕРН и другите лаборатории, които се занимават с физика на частиците, както и стандартния модел. Да предположим, че Айнщайн беше назначен от някой просветен “световен министър председател” за “висш съветник” и му бе възложено да определи пътя за развитие на физиката. Предполагам, че пръв приоритет за Айнщайн би било изследването на гравитацията. Без съмнение, той би препоръчал и други направления, но за него те не биха били приоритетни. Аз вярвам, че той би пренебрегнал много други направления за изследвания и открития от неговото време, като например откриването на ядрото от Ръдърфорд, точния математически формализъм на Енрико Ферми за описание на слабото взаимодействие, както и описанието на силните ядрени взаимодействия от Хидеки Юкава.

Да намериш смисъл в безсмислицата

През 20-те години на миналия век младият английски физик Пол Дирак опитва да разбере и опише пространствено-времевата еволюция на електрона – първата открита елементарна частица. Дирак е удивен от едно безпрецедентно свойство на пространство-времето, открито от Лоренц при изследванията му върху електромагнитните сили: ако пространството е реално, времето трябва да бъде имагинерно, и обратно. С други думи пространството и времето трябва да бъдат една “комплексна” смес – сума от една реална и една имагинерна величина. По-нататък, “елементарната частица” бе източник и на друга обезпокоителна загадка. През 20-те години изследването на спектъра на водорода разкри, че един електрон притежава не само орбитален ъглов момент, свързан с движението му около ядрото, но също така и един собствен ъглов момент или “спин”. Но от къде идва този спин? Защо спинът на електрона е само една втора от минималната стойност, измерена от атомните спектри? И

защо “жиромагнитното отношение” за електрона (т. е. отношението между магнитния момент и ъгловия момент) е два пъти по-голямо от отношението, измерено от атомните спектри?

Дирак смята, че тези сложни въпроси трябва да получат отговор и решава да изучава електрона в комплексното пространство-време. През 1928 г. той публикува своето прочуто днес уравнение.

Голямата новост във формализма на Дирак бе въвеждането на спинора, който представлява математическа функция с четири компоненти. Представете си, че искате да се придвижвате из пространство-времето с велосипед: вие се нуждаете от две колела. Разбира се, вие бихте могли да се придвижвате и с монопед с едно колело – подобно на цирков акробат. По същия начин преди да се появи Дирак, за описанието на една частица се използва само една функция – една скаларна функция. Според Дирак, за да опишете един електрон, вие се нуждаете от математичен обект с четири компоненти. На езика на ежедневието това би означавало да кажем, че за да се придвижваме в пространство-времето ни е необходим автомобил с четири колела, не моноциклет със само едно.

Уравнението на Дирак се появи заедно с изглеждащото безсмислено предсказание за наличието на “отрицателни енергии”. Само истински гений би могъл да преобразува това катастрофално предсказание в една страхотна нова граница за науката: съществуването на антиелектрона и на “морето на Дирак”. Дирак осъзна също, че всяка частица в нашия свят трябва да притежава античастица с противоположен по знак заряд. Това откритие бе семето за “радиационните ефекти”, за “бягащите” константи на връзката и за връзката между фундаменталните сили и тяхното обединение: с други думи то доведе физиката до триумфа на стандартния модел.

#### Влиянието на уравнението на Дирак

Веднъж имах привилегията да говоря с големия съветски физик Пьотр Капица, който бе в Кеймбридж с Дирак, където те двамата били ученици на Ръдърфорд. Всяка седмица двамата посещавали един семинар. Капица ми разказваше: “Няма значение каква бе темата на семинара, в края му аз задавах един и същ въпрос на Дирак: “Пол, къде е антиелектронът?” Капица бе голям приятел на Дирак, но остана с убеждението, че неговото уравнение поражда само неприятности. Тези негови коментари напомнят, че по онова време никой не е възприемал сериозно уравнението на Дирак. Никой не е подозирал каква златна мина ще се окаже това уравнение.

Най-значимото следствие от уравнението е съществуването на “радиационни ефекти”. Наистина, съществуването на антиелектрон (или “позитрон”, както е познат днес) предполага, че когато една частица (от която и да е вид) се удари със своята античастица, те анихилират, освобождавайки своята енергия в покой като високоенергетични фотони (или други калибровъчни бозони). Например, в случая на процес, описван само от квантовата електродинамика, един гама квант може да роди електрон-позитронна двойка, която може да се самотрансформира отново във фотон. Този процес, наречен “поляризация на вакуума”, бе първият радиационен ефект, предсказан теоретично.

Първият физик, комуто се отдаде да пресметне вакуумно-поляризаационните ефекти във водородния атом, бе Виктор Вайскопф. Той предсказа, че енергията на нивото  $2p_{1/2}$  във водородния атом трябва да бъде съвсем малко по-висока – с някакви 17 MHz, от енергията на нивото  $2s_{1/2}$ . През

1947 г. обаче Уилис Ламб и Робърт Редерфорд откриха, че  $2p_{1/2}$  нивото е фактически по-ниско от нивото  $2s_{1/2}$  с  $1000 \pm 100$  MHz.

Именно това експериментално откритие на Ламбовското отместване подтикна всички теоретици, включително Вайскопф, Ханс Бете, Юлиян Швингер и Ричард Файнман да пресметнат най-простия радиационен процес, при който един електрон излъчва и след това поглъща фотон. Но ако не беше откритието на позитрона – и следователно съществуването на електрон-позитронни двойки – никой не би си представил, че в природата биха могли да съществуват подобни радиационни ефекти. А без радиационни ефекти не би имало “бягащи” константи на връзка, не би имало връзка между различните взаимодействия и, в края на краищата, не би имало и велико обединение на всички фундаментални сили.

Мислете си за един фотон, който се подчинява на квантовата електродинамика и който може да роди кварк-антикваркова двойка (подчиняваща се на квантовата хромодинамика – теорията на силното взаимодействие), или в двойка  $W^+W^-$  (подчиняваща се на квантовата ароматодинамика – теорията на електрослабото взаимодействие), преди двете двойки да анихилират и отново да образуват фотон. Аниhilацията прави възможно присъствието и на трите теории в радиационните ефекти. Без тези резултати проблемът за ренормировката на калибровъчните сили (с или без спонтанно нарушаване на симетрията) никога не би бил разбран. И ако този проблем не беше решен – както това стана в началото на 70-те години от нобеловите лауреати за 1999 г. Джерард т’Хофт и Мартинус Велтман, ние не бихме имали стандартен модел с неговите многобройни прецизни количествени предсказания, които бяха опитно потвърдени в лабораториите по целия свят.

Корените на стандартния модел са в уравнението на Дирак. Всички ние сме деца на това уравнение. Без него не би имало лаборатории по физика на частиците и стандартен модел. Разбира се – и то за наше щастие – съществуват сериозни причини да вярваме, че има още много физика и зад стандартния модел. Съвременните резултати, отнасящи се до неутринните осцилации и новите данни за пряко нарушаване на  $CP$ -инвариантността в  $K$ -мезонната физика разкриват нови направления, излизащи извън рамките на Стандартния модел. Нито едно от тези открития, обаче, не е повлияно по какъвто и да било начин от гравитационното взаимодействие, което представляваше главен интерес за Айнщайн.

При корените на всичко

В началото на 70-те години Вайскопф, Еужен Вигнер, Боб Уилсън и други изтъкнати физици участваха в семинар, който се провеждаше в Ериче, Сицилия под надслов “Корените на модерната физика”. На този семинар те всички стигнаха до заключението, че ефективното начало – истинското семе на модерната физика – е уравнението на Дирак. Три десетилетия по-късно тяхното заключение бе потвърдено. Представете си модерната физика без възможността за симетрията частици-античастици и, следователно, без възможността за аниhilация. Не би имало имало “бягащи” константи на връзка, нито връзка между различните калибровъчни сили. Представете си, че никой никога не бе опитвал да опише еволюцията на един електрон в пространство-времето и сега няма нито едно от крайните следствия от това изследване. Ние не бихме били никъде!

Именно поради тези причини аз смятам, че Пол Дирак има много по-голямо влияние върху модерната наука през 20. век, отколкото Алберт Айнщайн.