

## ГЛАВА 3

# ФАЙНМАН, ШВИНГЪР И ТОМОНАГА (И ДАЙСЪН)

*Файнман и Швингър не са сами – в Япония Шиничиро Томонага също е разрешил загадката. Фриймън Дайсън доказва, че и трите теории в основата си са еднакви. Файнман, Швингър и Томонага получават Нобелова награда за КЕД. Дайсън обаче е пропуснат.*

По време на войната в Япония Шиничиро Томонага е човекът, който поддържа теоретичната физика жива. През 1943 г., интелектуално изолиран и подтикнат само и единствено от теорията, Томонага създава математическа рамка, която се справя с безкрайностите на КЕД. Публикува я на японски език. В онзи момент отместването на Лемб и аномалният магнитен момент на електрона били далеч в бъдещето. По време на участието на САЩ във войната колегите на Швингър и Файнман разработвали експерименталните техники, които ще доведат до откритията на Лемб.

Томонага научава за важните експерименти, представени на Шелтър Айланд, не от статия в научната литература, а от новинарска публикация в японски вестник. Физикът съпоставя резултатите със своята теория и открива, че те си съответстват. След което незабавно изпраща писмо до Опенхаймер.

Каква ирония само! Томонага създавал теорията в Япония, докато Опенхаймер ръководел Файнман, а косвено и Швингър, в проект, който поставя Япония на колене<sup>А</sup>. Едва след това те на свой ред публикуват собствените си версии на теорията. Ето как Опенхай-

---

<sup>А</sup> Авторът има предвид проекта „Манхатън“ за разработване на атомната бомба.

мер се оказва пътят, по който плодовете на японската теоретична физика достигат до лидерите на американската наука.

Скоро научните трудове на Томонага и неговите ученици започват да се превеждат на английски език. Изведнъж се появяват три теории за това как да се справим с безкрайността, докато само месеци по-рано не съществувала нито една. В този момент на сцената се появява младият английски математик Фриймън Дайсън.

## ФРИЙМЪН ДАЙСЪН

Запознах се с Дайсън през 1986 г. на тържество<sup>1</sup>, на което и двамата трябваше да държим реч. По същото време аз и писателят-учен Пол Дейвис бяхме гост-лектори в университета в Аделаида. Събитието се състоя в огромна зала, която можеше да побере до хиляда души. Почувствах се поласкан, когато видях, че поне половината зала бе пълна за моята реч. Но когато дойде редът на Дайсън, бяха останали места единствено за правостоящи. Показа се, че това се дължи не само на репутацията му, но и на печатна грешка в анонса за неговата беседа.

Презентацията му, озаглавена „Да смутим Вселената“, трябваше да се базира на неговите мемоари. Те включваха спомени от времето, прекарано с Файнман и Швингър, което отвежда Дайсън до неговия собствен принос към разнищването на загадката на КЕД. Но в онова време на ученически метежи неговата беседа изглеждаше много по-възбуждаща поради печатната грешка в заглавието, което вече гласеше „Да смутите Университета“.

Веднага щом стана ясно, че беседата ще е по-скоро за физика, отколкото за анархия, броят на посетителите драстично намаля – социалните революционери напуснаха залата. Дайсън ни разказа много истории от своята дълга научна кариера и в лични разговори допълни с подробности спомените за първите дни от зората на КЕД.

През 1947 г. и 1948 г. Файнман би споделил идеите си с всеки, готов да ги изслуша. Дайсън бил в университета Корнел за девет месеца – от септември 1947 г. до юни 1948 г. и слушал. В началото на лятото Файнман предприел пътуване до Ню Мексико и Дайсън се присъединил – взел участие в напълно непланирано приключение с кола за три дни между Кливланд и Албъркърк. По това време Файнман бил на негово разположение непрекъснато, по 24 часа в денонощието. Дайсън започва да разбира философията му.

След това преживяване Дайсън отива в Мичиганския университет в Ан Арбър, където по време на лятното училище между 19 юли и 7 август Швингър изнасял лекции върху отместването на Лемб и своя подход към КЕД. Лекциите се провеждали сутрин, което позволявало на Дайсън да си води бележки. Остатъка от деня той прекарвал, работейки върху тях, за да може на вечеря да притисне Швингър по неясните моменти.

Дайсън си спомня за съдържанието на лекционния курс като за „озадачаващо тресавище“. За сметка на това вечерните дискусии били изключително разбираеми. Открил, че личната и публичната страна от характера на Швингър са доста различни. След като лекционният курс приключва, Дайсън прекарва общо пет седмици, през които разговаря с Швингър за идеите му, докато най-накрая разбира в дълбочина техниките му.

Към този момент вече бил успял да покаже, че подходите на Томонага и Швингър са много близки, докато на Файнман е свършено различен. Но въпреки това и трите подхода водели до едни и същи резултати. Очевидно било, че трябва да са еднакви, но изобщо не било ясно защо.

В края на август Дайсън отива на почивка в Калифорния, но през цялото време размишлява върху тези идеи. В автобуса на връщане към Чикаго най-накрая разгадава същността на теорията на Файнман. Разбира, че Файнман и Швингър всъщност наистина са композирали една и съща симфония, пък макар и с ноти от различни тоналности. Поради интензивното си общуване с Файнман Дайсън осъзнава, че би могъл да пресъздаде идеите му в такъв вид, че и другите да могат да ги разберат. По този начин съумява да представи основата на емпиричния модел на Файнман. Това води до прочутия доклад на Дайсън<sup>3</sup>, който показва, че както Файнман и Швингър, така и Томонага, стигат до едни и същи фундаментални истини, макар и по различни начини. Изводите били дълбоки и значими за науката.

Да си припомним, че през 30-те години на ХХ в. КЕД постига качествен успех, стига да не се опитваме да работим извън първото приближение на резултата, защото в този момент теорията започва да връща безсмислени безкрайни отговори. Много физици в този предвоенен период вече били готови да се откажат от теорията и при липса на алтернатива дори да приключат с физиката. Мнението било, че появата на „безкрайността“ доказвала наличието на фундаментална пукнатина в цялата конструкция.

Дайсън постига голям прогрес, като доказва, че безкрайностите могат да бъдат „усмирени“ в теориите на Файнман, Швингър и Томонага. При това не само по отношение на отместването на Лемб и аномалния магнитен момент на електрона, но и за всеки процес, включващ светлина и електрони, който искате да пресметнете. По мнението на Дайсън<sup>4</sup> той постига „спасението [на КЕД], без да се налагат радикални нововъведения... [което] е победа за консерватизма“. Под това Дайсън има предвид, че Файнман, Швингър и Томонага били запазили основната теория на Дирак и просто променили „математическата ѝ надстройка“.

Днес квантовата електродинамика вече е издържала повече от 60-годишната проверка на времето. Дайсън описва теорията като един от основните стълбове в цялата физика. Ако пренебрегнете гравитацията, от една страна, и ядрената сила, от друга, квантовата електродинамика описва: законите на атомната и молекулярната структура; генерирането, излъчването и поглъщането на електромагнитно лъчение; всички обекти, които са свързани взаимно или се основават на електромагнитното взаимодействие. Тук се включват физиката на твърдите тела, течностите и газовете; лазерите; електрониката, също така химията и, общо взето, биохимията, биологията и генетичният код. Провалът на квантовата електродинамика в опитите да обясни произхода на свойствата на аминокиселините от основните си аксиоми не се смята за грешка в нейните уравнения, а се отдава на неспособността те да бъдат решени освен в относително най-простите случаи. Например инженерът не се нуждае от КЕД, макар емпиричните правила за напрежението и деформацията все пак в края на краищата да са следствие от нейните фундаментални закони.

## ДИАГРАМИТЕ НА ФАЙНМАН

Към 1949 г. Фриймън Дайсън вече бил доказал, че работите на Швингър, на Файнман и на Томонага са еквивалентни една на друга. Освен това вече бил проправил пътя към евентуално доказателство, че теорията не страда от проблема за безкрайността. Енциклопедичният подход на Швингър му спечелва аплодисментите на научната общност в САЩ, макар всъщност Дайсън да достига до дълбините на теорията. Но картинният подход на Файнман е многократно по-лесен и става основната техника на учените от този момент нататък.

На среща на Американското физично дружество през януари 1949 г. Файнман разбрал, че е „повел в надпреварата“, при това по наистина забележителен начин.<sup>5</sup> Физик на име Мъри Слотник изнася доклад. Но бил буквално смазан от Опенхаймер, който съобщил, че работата на Слотник трябва да е грешна, тъй като нарушавала „теоремата на Кейс“. Никой не знаел какво е това, най-малкото пък самият Кенет Кейс – постдокторант в института на Опенхаймер, който още не бил публикувал „теоремата си“. Слотник бил буквално разтърсен и неспособен да отговори. Опенхаймер казал, че Кейс ще изнесе лекция за теоремата си на следващия ден.

Файнман бил „ядосан от неудобното положение, в което бил поставен Слотник“.<sup>6</sup> Същата вечер направил пресмятането и доказал, че Слотник е прав. На сутринта привлякъл вниманието му и му казал. Слотник бил поразен, тъй като прекарал две години в работа върху проблема, включително шест месеца в дълги изчисления. А техниката на Файнман позволила целият проект да бъде завършен за една вечер.<sup>7</sup>

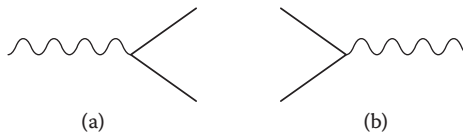
Слотник и Файнман се присъединили към останалите, за да чуют доклада на Кейс. В края на презентацията Файнман станал и съобщил, че самият той е потвърдил резултата на Слотник. Нищо повече не се чуло за „теоремата на Кейс“.

Файнман знаел, че е създал нещо специално. Това бил моментът, в който усетил „огъня“,<sup>8</sup> който бил дори по-голям от удоволствието при получаването на Нобеловата награда. Въоръжен с новопридобитата си увереност, Файнман триумфирал като победител в състезанието за намиране на решение на КЕД на третата среща, проведена в Олдстоун, на около 60 км от Ню Йорк, в периода 11–14 април 1949 г.

Дотогава проблемът за ренормализацията вече бил решен. По-рано в текста представихме аналогията с пикселите и туроператорите, както и нуждата от предварително познаване на дадени референтни стойности. Примери за такива стойности в квантовата електродинамика са измерванията за електричния заряд и масата на електрона. Оказва се, че всичко, касаещо взаимодействието между светлината и материята, може да бъде свързано с една от тези две величини. Фактът, че електричният заряд и масата на електрона са достатъчни, за да направят КЕД теория, която може да се ренормализира [т.е. е ренормируема], е много важен. Означава, че ако се върнем към аналогията с пътуванията, в случая имаме само два туро-

ператора. Единият прави сумирането за електричния заряд, другият – за масата. Като измерим експерименталната големина на всяка от тези величини, вече имаме достатъчно информация, за да пресметнем истинската стойност на *всяка* величина. Това е магията на КЕД – възможно е да премащабираме, т.е. да ренормализираме, сметките така, че да получим истински крайни стойности.<sup>9</sup>

ФИГУРА 3.1  
ДИАГРАМА НА ФАЙНМАН С ЕДИН ВЪРХ



Фотон се превръща в електрон и позитрон (схема (а)) или се образува от аниhilацията на електрон и позитрон (показано на схема (б))

ФИГУРА 3.2  
ДИАГРАМА НА ФАЙНМАН С ДВА ВЪРХА



Ако свържем схемите от фигура 3.1, имаме: (а) фотон, който се превръща във виртуален електрон, и позитрон, който след това се превръща във фотон. (б) Електрон излъчва фотон, след което го поглъща.

Най-после пресмятанията давали крайни отговори. Единственото, което оставало, били изследвания, насочени към по-висока точност чрез включването на още Файнманови диаграми. Файнман напълно разбирал, че съществуват безкраен брой диаграми, всяка от които следва да бъде пресметната, ако искаме да получим напълно точен отговор. Само че в диаграмите има йерархия – някои са по-важни. Затова трябва да се пресметнат първо най-важните и да се пренебрегнат незначителните. Ето как може да направим това.

Файнман включва физиката в своите картини. Енергията на фотона може да се материализира под формата на електрон и неговата античастица – позитрона. Ето защо вълнообразната линия (фото-

нът) се разделя на две – на електрон и позитрон, както е показано на фигура 3.1а. Но електричният заряд се запазва. Поради което един електрон ще живее вечно, докато не анихилира с античастицата си, т.е. с позитрона. Тогава енергията им се отнася от новопоявили се фотони. Най-простата диаграма за процеса включва единичен фотон (фиг. 3.1б). На фигура 3.2а е показан фотон, който моментално се преобразува в електрон и позитрон, които анихилират, за да образуват наново един фотон.

Правилата на Файнман гласят, че всеки път, когато следващ фотон е свързан с линия на електрон, относителната вероятност намалява с фактор *алфа*, т.е. с  $1/137$ . Следователно колкото повече фотон-електронни връзки съществуват, толкова по-малък е приносът на съответната диаграма за изчислението.

Емпиричното правило при диаграмите на Файнман е да се рисуват диаграмите с възможно най-малко връзки. След което ги изчисляват и приемат числото като приближение към пълния отговор. След това рисуват диаграмите със следващото най-малко количество *алфа* [т.е. най-малкия следващ възможен брой връзки]. Получават отговор, който е по-добро приближение от предишния. Процесът се нарича теория на пертурбациите – пресмятат дадено число от набор диаграми и предполагат, че всички останали по-сложни просто пертурбират, т.е. леко отклоняват отговора. Точно това, както видяхме в глава 1, е основната идея, с която започва всичко през 30-те години на ХХ в. Разликата е, че диаграмите на Файнман представят физичните идеи в явен вид.

Когато електрон взаимодейства с електромагнитно поле, най-простата диаграма е на фотон, излизащ от линията, представляваща електрона. Разгледахме такъв пример на фигура 2.1б. Това е т.нар. първо приближение, което се оказва изключително успешно в ранните години на КЕД. Корекциите, пропорционални на *алфа на трета степен*, включват три съединения.<sup>10</sup> Тогава има три възможности, които са показани на фигура 3.3а, б и в.

Всяка от тези диаграми съдържа три места, на които линия на фотон се свързва с линия на електрон. Всяко от тези места допринася към пълната сума на диаграмите от „ред *алфа на трета*“. Последното означава, че пренебрегват диаграмите с четири или повече връзки, но с една, две или три са включени. За конкретния пример за електрон, взаимодействащ с електромагнитно поле, съществува още една възможност с три връзки. Това е случаят, когато фотонът,





в Станфорд. Един от гостуващите лектори описваше как става пресмятането само на една диаграма. Били са необходими много изчислителни часове, а семинарът обещавахе да продължи поне още толкова. Файнман беше в публиката. Изнервяше се все повече и повече, докато лекторът говореше за ренормализацията като начин за получаване на краен резултат. Най-сетне на Файнман му дойде до гуша. „Каква е цялата тази ренормализация“, прогърмява глас с типичен бруклински акцент. Презентаторът, без да разбере, че говори самият Файнман, започва да обяснява ренормализацията като на сравнително простоват студент. Файнман го сръзва: „Когато измислих всичко това преди двадесет и пет години...“ Лекторът пребледнява, когато осъзнава кой говори. А Файнман продължава да изказва недоволството си, че не е измислен по-добър начин от теория на пертурбациите за извършване на сметки в КЕД, че трябва да се смятат още и още диаграми и след това да се използва ренормализацията, за да се стигне до смислен отговор.

Подобно на много физици и тогава, и сега, Файнман никога не бе напълно доволен от ренормализацията.<sup>11</sup> Но така или иначе, тя работи. След дълги пресмятания теорията дава отговор, който напълно съвпада с експерименталните данни. Квантовата електродинамика наистина заслужава името си.

Теорията се утвърждава през двете години между конференциите в Шелтър Айланд и в Поконо. Благодарение на нея става възможно да се изградят фундаменталните теории на частиците и взаимодействията. Опенхаймер заключава, че целта на срещите е постигната, и прекратява провеждането им.

Почти 20 години преминават, докато Файнман, Швингър и Томонага споделят Нобеловата награда по физика за 1965 г. Забавянето вероятно е причинено от обсъждането на Нобеловата комисия как да приложи правилото за максимално трима Нобелови лауреати спрямо четирима заслужаващи наградата учени. Както ще видим, това няма да е първият случай, в който достоен четвърти кандидат ще отпадне. В случая на КЕД комисията вероятно е преценила, че Файнман, Швингър и Томонага са написали симфонията, докато Дайсън бил по-скоро маестрото, който я интерпретира. Други, включително някои високоуважавани физици, смятат, че по-подходящата аналогия е друга. Тримата учени били написали отделни мелодии, от които Дайсън създал цяла симфония. Решението Дайсън да не бъде почетен с Нобелова награда през следващите шест десетилетия е тъжна грешка.