

Обединение + 150

М. М. Уолдръп¹

През 1861 г. Джеймс Клерк Максвел обедини електричеството, магнетизма и светлината. Провеждани днес експерименти биха могли да придвижат физиката по-близо до обединение на всичко останало.

Когато това се случи – ако въобще се случи – не очаквайте холивудска драма. Физиците на Големия адронен колайдер (ЛНС) около Женева в Швейцария няма да ахнат от учудване и на техните монитори няма да проблясва съобщението “Бозонът на Хигс е открит.”

Вместо това откритието ще се развие в рамките на месеци. Компютрите ще трябва да пресяват петабайти (10^{15} байта) от данни, получени от ударите между частиците, в търсене на шепа характерни събития, които биха могли да сигнализират за съществуването на обекта на техните търсения, докато физиците ще трябва да проверяват повторно всеки кандидат. Едва когато те за сигурност натрупат достатъчно събития – може би поне дузина – те ще обявят публично откриването на търсения бозон на Хигс. Така, съобщението би било драматично и – навременно. Точно преди 150 години шотландският физик Джеймс Клерк Максвел показа, че три привидно различни явления – електричните, магнитните и светлинните – представляват различни страни на едно явление, известно днес като електромагнетизъм. Откриването на бозона на Хигс би било огромна крачка напред в посока на обединението на различни явления, тъй като би запълнило последната и най-критична празнина в “стандартния модел”, едно обобщение на уравненията на Максвел, което обхваща три от четирите природни сили: електромагнитните, слабите и силните взаимодействия, които действат между субатомните частици. Предполага се, че бозонът на Хигс взаимодейства с електроните, кварките и другите фундаментални частици, като им придава маса и с това дава възможност на стандартния модел да описва Вселената такава, каквато я познаваме.

Както казва Франк Уилчек, това поставя стандартния модел днес в същото положение, в което е била теорията на Максвел преди експериментите да докажат съществуването на електромагнитните вълни. Уилчек е физик в Масачузетския институт за технологии в Кеймбридж и споделя Нобеловата награда по физика през 2004 г. за участието си в създаването на стандартния модел, за който той казва “той изглежда добре, много от предсказанията му се сбъднаха, но най-драматичната новост все още предстои да се провери.”

Дори обаче бозонът на Хигс да бъде открит според очакванията, физиците няма да бъдат задоволени. Крайната цел е една обединяваща теория, която ще покаже как всички наблюдавани частици и сили се оказват различни прояви на една единствена, лежаща в основата система, която може да се изрази в рамките на обикновена математична схема. Подобен елегантен резултат не е възможен в рамките на стандартния модел, който включва силното взаимодействие, но не казва нищо за гравитацията. Стандартният модел също така не обяснява наличието на тъмната материя – една невидима субстанция, която по маса превишава около пет пъти масата на обикновените звезди и галактики.

Въпреки че физиците признават необходимостта от едно по-голямо обединение, те не знаят каква форма би трябвало да има то. За четири десетилетия, почти толкова, колкото съществува стандартният модел, изследователите спекулират за пътищата за

¹ Авторът е редактор на сп. *Nature* във Вашингтон ДС. Статията е публикувана в списанието на 17 март, 2011. Преводът е с изв. съкращения. (Бел. прев.)

обобщаването му с екзотични идеи от рода на суперсиметрия, допълнителни измерения и холографско пространство–време. “Положението е такова, че на масата има куп хипотези, повечето не нови, и никаква експериментална подкрепа за някоя от тях.” – казва Ли Смолин, физик от Института по теоретична физика във Ватерло, Канада.

“Добрата новина е,” – казва Смолин, “че най-накрая експерименти се правят.” Благодарение на LHC и на други експерименти в рамките на няколко години физиците ще имат много по-ясна представа за това кои теоретични представи са реални и ще ги използват за окончателното обединение.

Суперсиметрия

Ако се окаже, че бозонът на Хигс представлява точно това, което предсказва стандартният модел, той би имал нулев спин и маса някъде между 115 и 180 GeV. Според Джон Елис от Кингс колидж, Лондон, обаче, откриването на точно такава частица би докарало голяма скука. Много по-интересно би било, ако физиците не открият нищо с LHC. Това би върнало теоретиците към черната дъска, но работата е там, че пак според него – “има различни черни дъски, към които може да се върнем”. Може би съществуват по-сложни начини за генериране на маса, или нещо още по-неочаквано. “Това би било много вълнуващо.” – казва той.

Според Елис друга възможност е на LHC да се открие не един бозон на Хигс, а цяло семейство такива частици. Това би било знак за суперсиметрия, теория, която предсказва съществуването на цял зоопарк от още неоткрити “суперчастици”, по една в съответствие на всяка от известните 25 частици на стандартния модел – на преносителите на взаимодействията бозони като фотоните, глюоните и Хигс, и на фермионите като кварките и електроните, които изграждат веществото. Тези суперчастици биха били тежки – поне 600 GeV.

Физиците харесват суперсиметрията, тъй като тя осигурява единно математично описание на бозоните и фермионите, които иначе изглеждат напълно несвързани. И теорията би усилила много доказателствата за “великото обединение” на силните, слабите и електромагнитните взаимодействия, оставяйки неизяснена само гравитацията.

Константата, определяща в стандартния модел интензивността на силното взаимодействие, изразена чрез аналог на електричния заряд, е много различна от интензитетите на слабите и електромагнитните взаимодействия. Ако обаче е вярна хипотезата за суперсиметрията, квантовите поправки показват, че трите константи са точно равни – точно както би трябвало да бъде, ако всъщност трите взаимодействия са прояви на едно единствено взаимодействие.

Суперсиметрията би разрешила също така някои от проблемите на другите теории за обединение, като например тяхното предсказание, че протонът би трябвало да е нестабилен. Пресмятанията показват, че наличието на суперчастици подтиска възможността за разпадане на протона и води до такива времена на живот, които са далеч по-големи от границите, установени понастоящем експериментално.

Накрая, и може би най-важно, суперсиметрията може би ще обясни тъмното вещество. Тази невидима космична мъгла се държи като рояк тежки частици, които взаимодействат много слабо с обикновените атоми, поради което за сега съществуването им е установено само по гравитационното им влияние върху видимите звезди и галактики. Нито една от частиците в стандартния модел няма подходящи свойства, но няколко от предсказаните техни суперпартньори ги притежават. Ако една от тях е наистина частицата, образуваща тъмното вещество, тя скоро би могла да бъде наблюдавана не само на LHC, но също и с един или повече от детекторите на тъмно вещество, които понастоящем работят по света (вж. *Nature* doi:10.1038/news.2011.125; 2011).

Но фактът, че суперсиметрията обещава много и чудесни решения за съществуващи проблеми, не е гаранция за верността ѝ. Смолин казва: “Ако суперсиметрията бъде наблюдавана, това би било чудесно. Но и ако не се открие, това също би било чудесно. Винаги е по-добре човек да знае.”

Допълнителни измерения

Разговорите с физиците от ЛНС може да придобият сюрреалистичен привкус – особено когато те започнат да говорят с безизразни лица за откриване на основното за научната фантастика – за допълнителните измерения.

Важна причина за сериозното разглеждане на тази перспектива е фактът, че допълнителните измерения са предсказани от теорията на струните – за сега най-популярният опит за обединение, надхвърлящ стандартния модел. Според теорията на струните, фундаменталните частици представляват вибриращи нишки енергия. Въпреки че тя бе развита в края на 60-те години на 20. век, тази теория все още остава едно умозрително упражнение, зад което не стои никакво физично потвърждение. Въпреки това тя си остава забележително привлекателна. Тя предсказва съществуването на сили, които много приличат на силните, слабите и електромагнитните сили от стандартния модел. Теорията на струните включва суперсиметрията по един естествен начин. И, освен това, автоматично включва гравитацията: уравненията на теорията на струните показват, че затворени контури от струни биха имали поведение на гравитони, частиците, които по предположение пренасят гравитационното взаимодействие. За тази теория един теоретик от Института за съвременни изследвания в Принстън – Натан Зайберг, казва: “Тя комбинира всички познати физични принципи. Това е велико. Няма друго предположение, което отива толкова далече.” Допълнителните измерения възникват, тъй като теорията на струните приема своята най-естествена форма при 11 измерения, от които само 4 можем да наблюдаваме: 3 пространствени и 1 времево измерение. Зайберг казва, че липсата на 7 измерения може да бъде обяснена лесно: теорията позволява те да бъдат така плътно навити, че да бъдат невидими при обикновени условия.

Експериментите на ЛНС биха могли да разкрият тези допълнителни измерения, ако родените при ударите частици имат достатъчно голяма енергия, а следователно – и достатъчно малка дължина на вълната на Де Бройл, така че да могат да се “вмъкнат” в тези плътно навити измерения. Енергията на движението в допълнителните измерения би се проявила като допълнителна маса – съгласно с прочутата Айнщайнова връзка между маса и енергия. Така физиците на ЛНС биха могли да открият цели семейства от по-тежки двойници на частиците от стандартния модел.

Един алтернативен сценарий, също издънка на теорията на струните, предполага, че това, което ние възприемаме като тримерно пространство, всъщност представлява един вид мембрана, плуваща в пространството с повече измерения. Ние не забелязваме допълнителните измерения, тъй като всички частици на стандартния модел са “пленени” върху мембраната. Ударите в ЛНС обаче може да са с толкова голяма енергия, че да позволят внезапно нахлуване на гравитационна енергия от пространството извън нашата мембрана. Резултатът би бил струя от продукти, родени при удара, разпространяващи се на една страна от точката на удара, при отсъствие на каквито и да било частици, които да балансират наличието им от другата страна – така, като че ли частиците от струята са ударени от мълния, появила се от нищото.

Физиците от ЛНС са пресметнали всички евентуални експериментални последствия от наличието на допълнителни измерения, но ако последните са навити твърде плътно, в мащаби, по-малки от 10^{-19} m, тогава енергията на ЛНС няма да бъде достатъчна за откриването им. Вероятността за последното е твърде голяма, поради което физиците смятат, че би било твърде удачен удар, ако с помощта на ЛНС успеят да наб-

людават допълнителните измерения. По този повод Майкъл Дъф, физик в Импириъл колидж, Лондон, казва: “Аз не съм затаил дъх. Бих се обзаложил, че ако допълнителните измерения съществуват, те са при мащаба на Планковата дължина.” – т.е. при 10^{-35} m, където се предполага, че квантовата механика и гравитацията се обединяват по някакъв все още непознат начин.

Въпреки това, смята се, че търсенето на допълнителни измерения си струва усилията.

Холография

Колкото и да е хубаво, казва Зайберг, привържениците на теорията на струните изпитват едно разяждащо чувство, че нещо липсва. Той казва “Ние знаем как да пресметнем много неща в теорията на струните. Но на нас ни липсва понятиятната основа за това – съвкупност от фундаментални принципи, от които да следва всичко.”

Тази необходимост от по-дълбоки принципи се споделя от всички видове физици, не само от специалистите по теория на струните. Една идея, която привлече много внимание следва от поразителното теоретично откритие, направено от Стивън Хокинг и други в Университета на Кеймбридж (Великобритания) през 70-те години на 20. век: квантовите ефекти в пространството около една черна дупка я карат да излъчва така, като че ли е гореща, въпреки че по предположение черните дупки само поглъщат маса и енергия, а не излъчват. “Това е удивителен резултат.” казва Карло Ровели от Средиземноморския университет в Марсилия, Франция. По някакъв начин науките за три очевидно различни явления – гравитация, квантова механика и термодинамика са обвързани. “И ние все още не разбираме защо това е така.”

Усилията да разберат този резултат насочиха теоретичните физици в някои странни направления. Според стандартната термодинамика, например, температурата на всеки обект е свързана с неговата ентропия: една величина, която е мярка за количеството информация, достъпна за външните наблюдатели относно подреждането и движенията на градивните частици на обекта. Но няма начин един външен наблюдател да получи каквато и да е информация от черна дупка, тъй като всичко, което се намира вътре в нея, зад нейния хоризонт на събитията, е отрязано от останалата Вселена. Така че ако черната дупка се подчинява на термодинамиката, както показаха Хокинг и останалите, цялата информация относно нейната тримерна вътрешност трябва по някакъв начин да е закодирана върху нейния двумерен хоризонт на събитията.

По-нататък, след десетилетни анализи и обобщения на този аргумент, днес мнозина физици вярват, че той е приложим за всеки тримерен обем – от черните дупки до празното пространство: цялата информация за съдържанието на обема може да бъде закодирана върху двумерната му повърхност. Казано с други думи, окончателната обединена теория би трябвало да опише нашият очевидно тримерен свят с термините на една действителност с по-малко измерения. Тогава нашата Вселена би се появила от теорията така, както един тримерен оптичен образ се поражда от двумерна холограма.

Въпреки че този “холографски принцип” може и да се окаже елемент от окончателната теория на великото обединение, сам по себе си той не казва как би изглеждала тази теория. И не всеки физик вярва в нея. “Тя е интересна и провокативна, но е изключително неопределена.” – казва Уилчек. Поне математически, един вариант на холографския принцип се прилага в модел на теорията на струните, познат като AdS/CFT-дуалност, който се изследва усилено. И вероятно по-важно – може би с него ще бъде възможно да се провери идеята.

Крейг Хоган от Фермилаб в Батавия, Илинойс, предполага, че ако холографският принцип е верен, квантовите ефекти може да предизвикат някакъв “холографски шум” в светлинните лъчи. Ефектът би бил нищожен, но може би било възможно наб-

людаването му със свръхточни лазерни интерферометри, каквито вече се използват в опитите за наблюдаване на гравитационни вълни.

Хоган и колегите му строят инструментариума, за да проверят дали този ефект може да се наблюдава и ако успеят, те се надяват следващата година да продължат с един пълноценен експеримент, който за три години би струвал около 2 млн. долара.

Сред всички теории, които биха могли да доведат до обединението във физиката – от теорията на струните до холографията и дори до още по-мъчно разбираеми понятия – стои и вероятността много от тях да се окажат една и съща идея, но гледана от различни гледни точки. Единственият начин да се разбере дали е така, е да се експериментира.

Зайберг казва: “ЛНС дава надежда за голям скок. След няколко години ние би трябвало да бъдем много по-умни.”