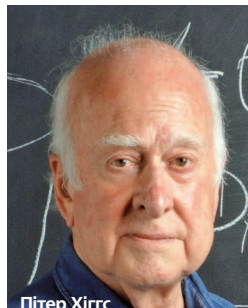
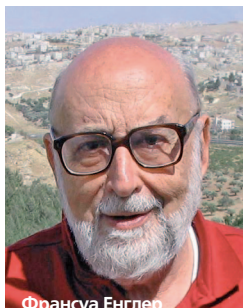


Бозон Хіггса допомагає прояснити будову нашого світу



Пітер Хіггс



Франсуа Енглєр

Ернст ПАШИЦЬКИЙ,
член-кореспондент Національної
академії наук України,
головний науковий співробітник
Інституту фізики НАН України



31

«Якщо буде відкрито бозон Хіггса, ми зрозуміємо задум Бога», – такого значення надавав нобелівський лауреат, академік Віталій Гінзбург експериментальному підтвердженню існування цієї фундаментальної частинки. І от нещодавно це відкриття відбулося! Тож нинішнього року Нобелівської премії в галузі фізики удостоєно двох відомих європейських фізиків-теоретиків – британця Пітера Хіггса та бельгійця Франсуа Енглєра, котрі передбачили існування бозона Хіггса. Згідно з рішенням Нобелівського комітету цю премію присуджено «за теоретичне відкриття механізму, що сприяє нашому розумінню походження мас субатомних частинок і який нещодавно було підтверджено відкриттям передбачуваної фундаментальної частинки за допомогою експериментів на Великому адронному колайдері». Інакше кажучи, ці вчені на основі нових уявлень про взаємодію між різними фізичними полями пояснили, чому різні елементарні частинки мають різні маси.

Щоб зрозуміти, що ж зробили Хіггс і Енглєр, аби одержати цю найпрестижнішу наукову нагороду, треба згадати п'ятдесяті та шістдесяті роки минулого століття, коли створювалася теорія унікального природного явища – надпровідності металів, яке було відкрито ще 1911 року видатним голландським ученим Гейке Камерлінгом-Оннесом і, на перший погляд, не має жодного стосунку до фізики субатомних елементарних частинок. Суть надпровідності полягає в тому, що під час охолодження деяких металів до дуже низьких температур за допомогою рідкого гелію (який, до речі, був уперше одержаний тими ж Камерлінгом-Оннесом за температури, нижчої від мінус 269 градусів за Цельсієм) у металу повністю зникає опір електричному струмові, тобто порушується один із фундаментальних законів природи – добре відомий закон Ома.

Для вивчення надпровідного стану металів двоє видатних радянських фізиків-теоретиків Лев Ландау та Віталій Гінзбург, майбутні нобелівські лауреати, 1950 року сформуvalи теорію, в основі якої лежать закони квантової механіки, яким підпорядкований увесь атомний та субатомний світ. Трохи пізніше, 1957 року, троє американських фізиків-теоретиків Джон Бардін, Леон Купер та Роберт Шріффер, теж майбутні нобелівські лауреати (до того ж Бардін став тоді єдиним дворазовим володарем цієї нагороди в галузі фізики, всупереч статуту Нобелівської премії!), розробили ще детальнішу теорію

явища надпровідності. Згідно з нею в надпровіднику, тобто металі, що перейшов у надпровідний стан, вільні електрони змінюють характер свого руху в електричному полі завдяки виникненню в їхньому енергетичному спектрі певної «забороненої зони», або «енергетичної щільності». Така «перебудова» електронних станів у надпровіднику відбувається завдяки зв'язуванню електронів провідності в так звані куперівські пари й утворенню нового макроскопічного квантового стану – «куперівського конденсату», здатного вільно рухатися крізь весь кристал, переносячи без жодного тертя електричний заряд.

Ця революційна ідея теорії надпровідності, що має загальноприйнятту назву «теорія БКШ» (аббревіатура з використанням перших літер у прізвищах її авторів – Бардіна, Купера і Шріффера), 1960 року була перенесена в теорію субатомних елементарних частинок видатним японським фізиком-теоретиком Йойтіро Намбу. Скориставшись добре відомим законом геніального фізика-теоретика ХХ сторіччя, лауреата Нобелівської премії Альберта Ейнштейна про еквівалентність енергії і маси, Намбу вперше довів, що маса елементарної частинки (зокрема, електрона) не є фундаментальною характеристикою цієї частинки, а утворюється завдяки енергії її взаємодії з іншими частинками й полями. За це відкриття Намбу в 2009 році (майже через півстоліття!) одержав Нобелівську премію.

До речі, відомі непоодинокі випадки, коли вченим доводилося ба-

гато років і навіть десятиліть чекати нагороди від Нобелівського комітету. Скажімо, видатний радянський фізик-експериментатор Петро Капіца, який 1938 року відкрив явище надплинності, тобто абсолютної відсутності в'язкого тертя в рідкому гелії за температури, нижчої від мінус 271 градус за Цельсієм, одержав Нобелівську премію лише у 1978 році! Щоправда, там справа дійшла до конфлікту між Капіцою та двома англійськими вченими Джоном Алленом і Доном Мізенером, котрі надіслали свої експериментальні результати спостереження явища надплинності в гелії в той самий журнал на два тижні пізніше. Нобелівський комітет прийняв рішення присудити премію за це відкриття всім трьом ученим. Але Капіца звинуватив цих авторів у використанні одержаних ним раніше попередніх результатів, коли він працював разом із ними в Кембриджській лабораторії у видатного вченого Ернеста Резерфорда, відзначеного Нобелівською премією за відкриття атомного ядра – першої субатомної частинки. Тоді, щоб запобігти публічному скандалові, члени Нобелівського комітету вирішили не присуджувати премію нікому.

Лише через 40 років, коли вже пішли з життя і Аллен, і Мізенер, у зв'язку з епохальними відкриттями американськими радіоастрономами Робертом Вільсоном і Арно Пензіасом реліктового космічного радіовипромінювання, що свідчило про існування в далекому минулому неймовірно гарячого Всесвіту, Нобе-

лівський комітет прийняв рішення разом із цими вченими присудити Нобелівську премію Капіці. Рішення мотивоване тим, що Вільсон і Пензіас на своєму радіотелескопі для максимального підвищення чутливості радіоприймачів застосували їх охолодження надплинним гелієм, що був відкритий Капіцею.

Ще два «довгожителі», які довго чекали й нарешті дочекалися присудження Нобелівської премії, – це видатні радянські фізики-теоретики Олексій Абрикосов, учень Льва Ландау, та вже згаданий Віталій Гінзбург. Обидва разом отримали Нобелівську премію у 2003 році: перший – за роботу, присвячену квантовим вихорам у надпровідниках та магнітному полі, яку він виконав ще 1953 року (тобто чекав на премію рівно 50 років!), а другий – за одержане разом із Ландау в 1950 році рівняння Гінзбурга–Ландау. Тож Гінзбурга можна в цьому сенсі вважати «рекордсменом»: він чекав на свою премію аж 53 роки! А останній російський Нобелівський лауреат, академік Російської академії наук Жорес Алфьоров одержав Нобелівську премію 2000 року за дослідження в галузі напівпровідників, що були виконані на початку 60-х років минулого століття, тож і йому довелося чекати на неї майже 40 років.

Нинішніх лауреатів Нобелівської премії Пітера Хіггса та Франсуа Енглера також можна віднести до когорти «довгожителів» серед здобувачів цієї нагороди, якої вони дочекалися лише через 49 років, уже в похилому віці! То хто вони, нові нобелівські лауреати?

Пітер ХІГГС народився 29 травня 1929 року в Ньюкаслі (Велика Британія), навчався в Лондоні, але значну частину життя прожив у Единбурзі (Шотландія), бо його мати мала шотландське походження. У нього двоє синів і двоє онуків. Нині він почесний професор Единбурзького університету, має багато відзнак та нагород, зокрема Велику медаль Лондонського Королівського товариства (1981), медалі імені Ернеста Резерфорда (1984) та імені Поля Дірака (1997), медаль Королівської Шведської академії наук (2009) та персональну іменну медаль Хіггса від Королівського товариства в Единбурзі (2012).

Перша теоретична робота Пітера Хіггса, яка започаткувала саме той напрям у фізиці елементарних частинок, що привів до здобуття Нобелівської премії, була опублікована в європейському журналі *Physics Letters* ще на початку 1964 року, майже пів-

століття тому! Друга його робота на ту саму тему була відхилена редакцією цього журналу, але Хіггс після деяких корективів надіслав її до американського журналу *Physical Review Letters*, де вона й була опублікована в жовтні 1964 року.

Але треба ж було такому статися, що в серпні того самого року, в тому самому американському журналі опублікували роботу Франсуа Енглера та Роберта Браута майже з такими самими результатами, як у Хіггса! А ще через місяць, у листопаді 1964 року, в цьому ж журналі вийшла стаття трьох авторів – Геральда Гуральніка, Карла Хагена й Тома Кіббла на ту саму тематику!

Та й це ще не все! Майже водночас двоє зовсім молодих талановитих фізиків-теоретиків, тоді ще студентів Московського фізико-технічного інституту, Олександр Поляков та Олександр Мігдал розв'язали фактично ту ж саму проблему спонтанного порушення симетрії та виникнення масивної частинки – бозона, про що було згадано Нобелівським комітетом у науковому обґрунтуванні присудження премії з фізики за 2013 рік. Але свою роботу Мігдал і Поляков опублікували трохи пізніше. Як то кажуть, ідея висіла в повітрі, тож вона майже водночас з'явилася в головах різних людей.

Спочатку результати трьох робіт шести авторів Браута–Енглера–Хіггса–Гуральніка–Хагена–Кіббла розглядали в науковій літературі як єдиний механізм у теорії електрослабкої взаємодії елементарних частинок. Усіх їх 2010 року відзначено премією від Американського фізичного товариства. Але, згідно із статутом Нобелівської премії, одержати її одночасно можуть тільки три людини! Отже, треба було з шести вчених обрати лише трьох – тих, хто був першим, бодай на місяць! Такими виявилися Хіггс, Браут і Енглер, чії публікації, як уже зазначалося, вийшли раніше. Та Браут не дожив до наших днів, а Нобелівська премія, згідно зі статутом, може бути присуджена лише живій людині, й тому лауреатами стали лише двоє – Хіггс і Енглер.

Основна ідея теоретичної моделі Браута – Енглера – Хіггса – Гуральніка – Хагена – Кіббла дещо з іншого боку, ніж модель Намбу, розкривала механізм виникнення (або, як кажуть фізики-теоретики, генерації) мас субатомних частинок. А щодо математичної структури цієї теоретичної моделі, то вона майже подібна до рівняння Гінзбурга–Ландау в теорії надпровідності металів, що підкреслює єдність законів природи на всіх рівнях. Один із таких законів – так зване спонтанне порушення симетрії в різних системах за різних фазових перетворень. Наприклад,

Декілька слів про другого нобелівського лауреата – Франсуа ЕНГЛЕРА. Народився він 6 листопада 1932 року в Брюсселі (Бельгія), навчався та працював тривалий час у Брюссельському вільному університеті, де є нині почесним професором. Водночас він співпрацює в ранзі запрошеного професора в університеті Тель-Авіва (Ізраїль) та в університеті Чапмена в Каліфорнії (США). Він був лауреатом премії Вольфа з фізики у 2004 році та премії Європейського фізичного товариства в галузі високої енергії і елементарних частинок у 1997 році (обидві премії одержано разом із Браутом та Хіггсом).

у макроскопічних системах – це переходить нормального металу в надпровідний стан, магнетика – у феромагнітний стан, нормального рідкого гелію – в надплинний стан. А на субатомному рівні – це перехід від фундаментальних частинок із нульовою масою до різноманітних типів частинок зі скінченою масою.

В основі цього останнього ефекту лежить досить дивне поняття – так зване нелінійне скалярне поле Хіггса з... уявною масою. Саме це було головною евристичною ідеєю Хіггса та його однодумців. Виявилось, що саме завдяки взаємодії з таким полем різні субатомні фундаментальні частинки, які спочатку взагалі не мали жодної маси, – лептони, кварки, векторні бозони (їх наразі налічують понад два десятки) – одержують свої реальні й дуже різні маси. Тут треба зазначити, що вперше механізм виникнення скінченої маси у квантів електромагнітного поля – фотонів було запропоновано ще 1963 року лауреатом Нобелівської премії американським фізиком-теоретиком Філом Андерсоном. Він довів, що фотони, які мають нульову масу й у вільному просторі рухаються зі швидкістю світла, під час взаємодії з надпровідником одержують ненульову реальну масу й навіть можуть... зупинятися! До речі, високоенергетичні фотони – гамма-кванти, що народжуються в надрах Сонця та інших зірок у процесі термоядерних реакцій перетворення водню на гелій і розповсюджуються в гарячій та густій сонячній плазмі, також мають скінчену масу й тому рухаються дуже повільно, досягаючи поверхні Сонця через... мільйони років після свого народження!

Щодо моделі Хіггса, то її особливість полягає в тому, що навіть власні коливання поля Хіггса також перетворюються на масивні частинки, які і є саме бозонами Хіггса й заради пошуку яких було побудовано найгран-

діознішу та найскладнішу споруду в світі – Великий адронний колайдер.

Стосовно цієї велетенської і водночас неймовірно точної машини в мас-медіа сказано вже чимало, включаючи «передбачування» виникнення «чорних дір» та «загибелі Землі». Треба відразу заспокоїти наївних, довірливих читачів, слухачів та глядачів: ніякої загрози для нас з боку цього колайдера немає. До речі, назва колайдера походить від англійського слова *collision*, що українською означає «зіткнення». Річ у тім, що це такий спеціальний прискорювач заряджених частинок, в якому вони після їхнього прискорення електричними полями рухаються назустріч одна одній та стикаються між собою, як то кажуть, лоб у лоб. При цьому вся накопичена ними енергія повністю використовується на процесі народження нових субатомних частинок, які самі по собі в нашому звичайному світі не існують, але можливість їхнього існування за високих енергій передбачена фізичною теорією. Саме для її підтвердження й побудовано Великий адронний колайдер.

Передбачую запитання: а чому цей колайдер зветься адронним? Іноді деякі коментатори радіо та телебачення називають його «адронним», але до якогось Андрона він не має жодного стосунку (так само, як і лазер – до Лазаря). Мається на увазі, що цей колайдер призначений для прискорення та зіткнення певних, досить важких частинок, зокрема протонів, які є позитивно зарядженими ядрами водню й належать до ядерних частинок із сильною взаємодією між собою, що мають назву «адрони» (або «хадрони» від грецького слова «хадрос» – великий, важкий).

Великий адронний колайдер, побудований у Швейцарії, в міжнародному європейському ядерному центрі (ЦЕРН), розраховано на одержання максимальної енергії зіткнень протонів у 14 тера-електрон-вольтів (скорочено 14 TeV). Порівняймо цю енергію з нашими буденними енергетичними затратами. Один електрон-вольт (1 eV) майже в мільйон мільйонів разів менший за одиницю енергії в один ерг, яка відповідає енергії руху комашки вагою 1 грам зі швидкістю 1 сантиметр за секунду. А один тера-електрон-вольт у мільйон мільйонів разів більший за 1 eV! Отже, максимальна енергія протонів у колайдері дорівнює приблизно 14 ергам.

Але ж наші побутові електроприлади та транспортні засоби мають потужності в декілька ватів чи кіловатів (тобто тисячі ватів), а потужності електростанцій вимірюються мегаватами (тобто мільйонами ватів). Одиниця потужності в 1 ват відповідає витраті або виробництву енергії в

1 джоуль за одну секунду, а 1 джоуль у десять мільйонів разів більший за 1 ерг! От і підрахуйте, у скільки мільярдів разів більше енергії йде на потреби нашого суспільства щосекунди порівняно з усією енергією протонів у колайдері.

Чому колайдер названо Великим? Він і справді дуже великий: довжина його підземного тунелю, в якому прокладено вакуумне кільце прискорювача, та магнітна система для фокусування протонних пучків, що складається з 8 тисяч надпровідних магнітів, становить 27 кілометрів (для порівняння: кільцева лінія метро в Москві – 19,3 км). На початку будівництва колайдера виникло багато труднощів та навіть небезпечних аварій, таких, наприклад, як руйнування магнітних надпровідних систем через помилкові розрахунки їхньої конструктивної міцності, що майже на два роки затримало запуск прискорювача. Але нарешті завдяки неймовірним зусиллям інженерів і вчених з усього світу та колосальним фінансовим коштам у десятки мільярдів доларів, що надходили з багатьох країн-засновників цього грандіозного наукового проекту (з-поміж яких, на жаль, не було України), цю «Вавилонську вежу» сучасності було збудовано.

Як відомо, за легендою, багаті та пихаті мешканці Вавилону зводили свою вежу, щоб дістатися неба, але боги наслали на них прокляття, через що всі люди почали говорити різними мовами й не змогли порозумітися між собою, що й завадило завершенню будівництва. А в наш час, навпаки, з різних країн збиралися люди, котрі розмовляють різними мовами, але завдяки єдиній «мові» наукових знань дуже добре порозумілися й побудували велетенську й водночас неймовірно складну та максимального точну споруду, аналогів якої не було й немає за весь час розвитку людської цивілізації!

За допомогою цієї велетенської машини на початку минулого року вдалося відкрити ту саму загадкову фундаментальну частинку – бозон Хіггса. Завдяки цьому сьогодні можна сказати, що ми наблизилися до розуміння будови та походження нашого Всесвіту, але це вже інша історія.

А видатні вчені Пітер Хіггс і Франсуа Енґлер ще в 60-ті роки минулого сторіччя передбачили можливість існування цієї частинки, яка свідчить про надійність і достовірність сучасної теорії фундаментальних частинок.

Не можна не сказати кілька слів про участь України в цьому грандіозному науковому проекті. Ще 1992 року тодішній голова Державно-

го комітету з науки і техніки, член-кореспондент НАН України Сергій Рябченко за участю співробітника Інституту теоретичної фізики імені М. М. Боголюбова, доктора фізико-математичних наук Геннадія Зінов'єва, який уже тоді працював у ЦЕРНі, уклав державну угоду з тодішнім директором ЦЕРНу, лауреатом Нобелівської премії Карло Руббіа про асоційоване членство України в цьому проекті протягом 10 років. Учасниками наукових програм ЦЕРНу надалі стали харківські вчені, котрі під керівництвом академіків НАН України Івана Карнахова та Бориса Гриньова забезпечили виготовлення високоякісних напівпровідникових пристроїв і монокристалічних пластин люмінесцентних матеріалів для детекторів швидких суб'ядерних частинок – продуктів ядерних перетворень під час зіткнень протонів у Великому адронному колайдері, а також член-кореспондент НАН України Геннадій Зінов'єв, який брав активну участь у проекті «Аліса» щодо зіткнення важких атомних ядер зависоких енергій з утворенням особливого стану речовини – так званої кварк-глюонної плазми.

Водночас теоретичні проблеми, що були тісно пов'язані з фізичною природою нелінійного поля Хіггса та генерацією мас елементарних частинок, упродовж 1980–1990-х років успішно досліджували в Києві в Інституті теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова член-кореспондент НАН України Петро Фомін та його співробітники: член-кореспондент НАН України Валерій Гусинін, доктори фізико-математичних наук Володимир Міранський та Юрій Сітенко. До слова, видатний фізик-теоретик, академік Микола Боголюбов був одним із перших, хто ще з 1947 року почав вивчати проблему спонтанного порушення симетрії стосовно таких явищ фізики конденсованого стану, як надплинність і надпровідність.

Варто додати, що в Харкові у Фізико-технічному інституті НАН України над цими проблемами разом зі своїми співробітниками працював академік НАН України Дмитро Волков, котрий започаткував теорію суперсиметрії елементарних частинок, а доктор фізико-математичних наук Ілля Криве з відомим фізиком-теоретиком із московського Фізичного інституту імені П. М. Лебедева Андрієм Лінде досліджував явище вже згаданого спонтанного порушення симетрії за рахунок утворення поля Хіггса та вплив цього поля на еволюцію нашого Всесвіту.

Отже, й українські вчені зробили помітний внесок у дослідження фундаментальної проблеми походження поля Хіггса та його впливу на різні процеси і явища субатомного світу.