

## **Н. Лок'єр, директор Національної прискорювальної лабораторії Фермі (Fermi National Accelerator Laboratory, Fermilab) у Батавії, США:**

«Цей рік для фізики частинок став переломним. Десятиліття пригод у пошуку бозона Хігса практично добігли кінця. Нобелівська премія за його передбачення залишається приводом для дискусій, але загалом у спільноті фізиків частинок відчувається певне задоволення. Час трохи відпочити і подумати, що буде далі.

Бозон Хігса став останньою деталлю головоломки стандартної моделі фізики частинок, але ця модель не пояснює деякі фундаментальні особливості нашого Всесвіту. Від надмалої маси нейтрино до темної матерії і темної енергії – ми знаємо, що тут приховано набагато більше. Але де шукати наступний ключ до розгадки?

Це нам насправді невідомо. Кожен фізик має власну точку зору, і країни готують різні стратегії визначення найкращих місць для проведення досліджень. Проте ми знаємо, що наступне покоління прискорювачів елементарних частинок буде дуже дорогим. А запити на фінансування до урядів держав зіткнуться з фінансовими обмеженнями по всьому світі.

Як наступний директор Національної прискорювальної лабораторії Фермі (Fermilab) у Батавії, штат Іллінойс, я останні шість місяців провів у обговореннях майбутнього фізики елементарних частинок для США. Але фізика елементарних частинок – це міжнародна справа, до якої долучені проекти і вчені з різних країн. США можуть взяти на себе ініціативу в певних галузях, наприклад у фізиці нейтрино, але глобальна картина залишається нечіткою. Потрібно об'єднати всі ресурси, не виключаючи і нових гравців. У світовому рівнянні треба враховувати талант, інфраструктуру і амбіції Китаю та Індії.

Зараз ми перебуваємо в критичній точці для нашої галузі. Кожна країна і кожен великий проект мусять усвідомити свій вплив на загальну справу. Можливостей – безліч, і узгоджений рух прискорить прогрес та об'єднає розрізнені зусилля. Проте ризики також великі: неможливість домовитися про таке об'єднання, втрата міжнародних партнерів та принесення прогресу в жертву по спадній спіралі безлічі частково затверджених проектів.

### **Не тільки бозон Хігса**

Поріг високої енергії за межами Хігса скоро стане досяжним для Великого Адронного Колайдера (ВАК) у ЦЕРНі, європейській лабораторії фізики частинок неподалік від Женеви у Швейцарії – наразі цей прискорювач може досягати найбільшої у світі енергії. Коли у 2015 р. його буде знову запущено після дворічної модернізації, він зможе працювати близько до своєї межі енергетичних можливостей у 14 тераелектронвольт (TeV) – майже у два

рази більше, аніж виявилось необхідним для відкриття бозону Хіггса. Зараз, коли стандартна модель, нарешті, повна, жодна нововиявлена частинка не стане причиною повного перегляду наших знань з фізики.

Окрім того, існують плани щодо модернізації ВАК у 2020-х роках і забезпечення кращими променями та детекторами, які зможуть працювати з величезними обсягами утворюваних даних. Навіть дуже скромна модернізація коштуватиме приблизно 1 млрд дол. США, тож знадобляться внески як країн-членів, так і країн поза членством ЦЕРНу.

Перспективними залишаються і інші напрями. Ми досі не розуміємо принцип взаємодії нейтрино, звідки у них береться їх мала маса і якою була їхня роль у ранньому Всесвіті. Fermilab направляє до уряду США запит на великий експеримент із променями нейтрино, який простягнеться на 1300 км: від Fermilab до шахти Гоумстейк у Південній Дакоті. Під час десятиденної липневої зустрічі Товариства США в Міннесоті для узгодження майбутніх планів виник і амбітний проект з розташування 35-тонного детектора з рідкого аргону на глибині 1500 м. Це може допомогти нам зрозуміти масу нейтрино і чи справді ці частинки якимось стосуються всесвітньої асиметрії матерії і антиматерії.

Бюджет нового проекту наближається до 1 млрд дол., тож для цього експерименту знадобляться міжнародні партнери – нетиповий крок для внутрішньої науки США. Науковий відділ Міністерства енергетики США зазначив, що підтримає таку велику пропозицію, якщо до неї долучаться країни Європи та Азії.

Тривалий експеримент з пошуку нейтрино необхідний, незалежно від обставин. Альтернативи є: у Європі можуть спостерігати за передачею нейтрино з ЦЕРНу до Фінляндії, аналогічні спостереження можливі і в Японії. Проте світ не зможе профінансувати більш як один.

Найбільша конкуренція на сьогодні якраз із боку Японії, де проходять провідні програми з фізики нейтрино, виробництво нижніх кварків і експерименти з мюонами та каонами. Ця країна сподівається побудувати Міжнародний лінійний колайдер (ILC) – 30-кілометровий колайдер електронів і позитронів з енергіями до 500 GeV для вивчення бозону Хіггса, який буде точнішим за ВАК наприкінці 2020-х. Вважається, що зведення почнеться вже за кілька років.

Японія має намір розпочати кампанію щодо підписання угоди підтримки цього міжнародного проекту, який вимагатиме участі США та Європи. Більшість фізиків частинок підтримують ILC, але багато хто хотів би спершу побачити розрахунки – які саме відкриття будуть отримані від покращеного ILC. Якщо вже не залишилося частинок, які треба відкривати, що більша

точність ІЛС могла би зробити зведення його навіть привабливішим. Якщо ВАК зробить ще якісь відкриття, то спільноті потрібен буде інший прилад для дослідження нового рівня енергій.

### **Передача естафети**

Зважаючи на нашу непевність у тому, який з рівнів енергії принесе плоди в майбутньому, багато фізиків частинок вважають, що ми маємо спрямовувати свої зусилля на найвищі цілі. Дехто заявляє навіть про високоенергетичний колайдер лептонів, подібний до колайдера мюонів або Компактного Лінійного Колайдера (європейського суперника ІЛС), який може досягти 3–5 ТеВ. Європа збирає команду для розробки протонного колайдера з потужністю 100 ТеВ і круговим тунелем довжиною у 100 км для визначення всіх частинок, які можуть бути виявлені на покращеному ВАК на менших енергіях. Такий прилад може розпочати свою роботу у 2030-х.

США у свою чергу зберігають амбіції щодо зведення на своїй території провідного високоенергетичного приладу, хоча прискорювач «Теватрон» у Fermilab зупинили у 2011 р., а реалізувати ідею з Надпровідним Суперколайдером у 1990-х також не вдалося. Можливо, естафета досліджень високих енергій перейде і до США. Fermilab досі вважається світовим лідером у області магнітів високого поля для прискорювачів протонів, що може бути необхідним для колайдера протонів потужністю у 100 ТеВ.

Додає напруження й нова роль Китаю. Раніше у фізиці елементарних частинок він був незначним гравцем, але за останній рік ця країна сильно зміцнила свої позиції завдяки досягнутим результатам у реакторній фізиці нейтрино, зокрема показала, що два з трьох типів нейтрино змішуються набагато краще, аніж передбачалося. Таке велике змішування означає, що фундаментальні відмінності симетрії між нейтрино і антинейтрино можуть спостерігатися в тривалому експерименті і можуть розказати нам про дисбаланс матерії та антиматерії у ранньому Всесвіті. З таким стимулом до розвитку, чи зможе Китай обігнати інші країни у зведенні приладу на 100 ТеВ? Китаю це обійдеться дешевше, хоча країні однаково знадобиться допомога решти світу в розробці та будівництві.

Якщо Китай вирветься вперед, це змінить усю науку, зрівнюючи шанси з новими економіками. Обговорення світового прогресу в галузі фізики частинок повинні будуть обов'язково проходити за участі представників з Китаю та Індії, а також Північної Америки, Європи та Японії.

### **Світовий діалог**

Фізикам байдуже, де саме проводити дослідження. Але величина проектів фізики елементарних частинок означає, що для нових мега-прискорювачів потрібне планування, угоди та спільне будівництво світового

рівня. Усі держави будуть робити безпрецедентні фінансові інвестиції в інші країни, що змінить традиційні політичні розрахунки, де раніше отримані від збору податків гроші витрачалися переважно в межах країни для отримання швидкої і прямої вигоди.

Уряди намагаються зрозуміти, які моделі найкраще відповідатимуть їхнім національним інтересам. Менше говорять про «приток і відплив мізків», а більше – про «циркуляцію мізків». Країни та спільноти інтелектуалів від участі в міжнародному діалозі виграють, хоча можуть при цьому і не мати найбільшу кількість гравців.

Потрібно також подбати про стан великих місцевих лабораторій, таких як ЦЕРН, Fermilab та японська організація дослідження високого прискорення KEK у Акубі: зараз це єдині місця, де можливі проекти фізики високих енергій. Запити від нових економік, подібних до Китаю, на зведення інших проектів можуть вплинути на довгострокові плани вже існуючих лідерів. Учені з Європи та США змушені будуть знайти найкращий спосіб скористатися міжнародним суперництвом як стимулом до просування проектів на своїй території, залишаючись при цьому гарними міжнародними партнерами. Це може виявитися непростим завданням.

Бозони Хігса не підлягають експортному контролю, так само як і зображення глибин космосу від передових телескопів. Але розвиток технологій, інколи силами міжнародних співтовариств, може отримати подвійне використання – наприклад, для оборонної промисловості або для економічної вигоди, як і для фундаментальної науки. Країнам треба вирішити, як саме вони будуть контролювати і відповідально використовувати ці можливості.

Провідні вчені з фізики елементарних частинок мають бути більш активними й агресивними у визначенні та захисті світової програми. Зрештою, саме дослідження фізики елементарних частинок допомагають нам зрозуміти, як працює наш Всесвіт».

Адреса джерела: <http://www.nature.com/news/particle-physics-together-to-the-next-frontier-1.14364> (Лок'єр Н. *Фізика частинок: разом до нових обр'їв* // Український науковий клуб ([http://nauka.in.ua/news/international-collaboration/article\\_detail/9227](http://nauka.in.ua/news/international-collaboration/article_detail/9227)). – 2014. – 17.01).