

НАУКОВІ ПРОРИВИ 2012 РОКУ ЗА ВЕРСІЄЮ ЖУРНАЛУ «SCIENCE»



21 грудня 2012 року вийшов спеціальний випуск одного з найпрестижніших наукових видань світу — журналу «Science». За традицією, редакція журналу підводить підсумки року і пропонує читачам рейтинг найцікавіших і найважливіших наукових досягнень 2012 року. Фізика, біологія і розвиток технологій — наукові сфери, що цього року привернули до себе найбільшу увагу.

За традицією, наприкінці року редакція наукового журналу «Science» підводить підсумки року, що минає, і пропонує читачам рейтинг найвидатніших наукових досягнень. Співробітники видання обирають 10 головних, на їхній погляд, наукових подій і виділяють серед них одного переможця. Список 2012 р. безперечно очолило повідомлення про відкриття бозона Хіггса, або так званої «частинки Бога».

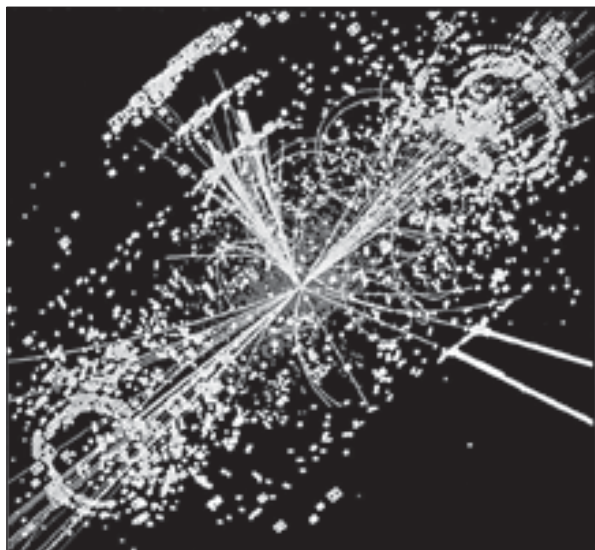
БОЗОН ХІГГСА

Спостереження ознак бозона Хіггса, субатомної частинки, що утворилася під час зіткнення протонів у кільці Великого адронного колайдера, визнано найважливішим науковим відкриттям 2012 року.

4 липня співробітники ЦЕРНу оголосили, що вони виявили частинку, яка, ймовірно,

є довгоочікуваним бозоном Хіггса — досі відсутнім складником у Стандартній моделі фізики. Близько 40 років тому англійський фізик Пітер Хіггс теоретично припустив існування цього бозона, і весь цей час фізики відчайдушно шукали його, оскільки ця частинка є ключем до розуміння того, звідки взялася маса всіх інших елементарних частинок, і може стати останньою цеглинкою в теорії про будову Всесвіту.

Семинар, на якому вчені повідомили про результати експерименту, завдяки засобам масової інформації миттєво перетворився з наукової події на інформаційне шоу, яке захопило уяву людей у всьому світі. І хоча науковці не втомлюються нагадувати про необхідність додаткових досліджень, здається, вже ні в кого немає сумнівів, що «частинку Бога» «впольовано».



Теоретичне моделювання:
поява бозона Хіггса під час зіткнення протонів

У редакційній статті журналу «Science» це досягнення названо «тріумфом людського інтелекту» і кульмінацією десятиліть наполегливої праці багатьох тисяч учених та інженерів. Крім того, воно вимагало від людства чималих фінансових витрат: лише будівництво Великого адронного колайдера обійшлося майже в 6 млрд євро. На думку редакції, з цього відкриття починається ера нової фізики. Так це чи ні, покаже майбутнє, однак, незважаючи на рекламний галас, відкриття бозона Хіггса повною мірою заслуговує на визнання як «науковий прорив року».

До речі, журнал «Nature» цього року зосередив свою увагу не на досягненнях науки, а на людях, що найбільшою мірою вплинули на наукове життя впродовж 2012 р. У їхньому рейтингу першу сходинку посів генеральний директор ЦЕРНу 64-річний Рольф Хойер, якого було відзначено за його роль у «правильній презентації найбільшого наукового відкриття року, якщо не всього десятиліття», — виявлення бозона Хіггса. На думку редакції журналу, саме Р. Хойер зумів м'яко переконати учасників експерименту представити публіці наявні у них дані про частинку, що за своїми параметрами відпо-

відає бозону Хіггса, і саме він «узяв на себе ризик і відповідальність» за слово «відкриття» щодо цієї події. «Це відкриття могло б і не стати таким, якби не дипломатія Рольфа Хойера», — зазначає видання.

ГЕНОМ ДЕНИСІВСЬКОЇ ЛЮДИНИ

Другу сходинку рейтингу посіло секвенування геному денисівської людини. Своєю назву ця вимерла гілка *homo* дістала від Денисової печери в Алтайському краї, де в 2010 р. було знайдено фрагменти скелета. Вчені з'ясували, що денисівці населяли Південний Сибір та Середню Азію і співіснували з неандертальцями і предками сучасних людей, хоча й були відмінні від них.

Минулого року наукова група знаменитого палеогенетика Сванте Паабо (Svante Paabo) з Інституту еволюційної антропології імені Макса Планка в Лейпцигу, маючи у своєму розпорядженні лише уламок фаланги пальця, змогла прочитати генетичний код із виділеної ДНК з покриттям (coverage) 1,9, тобто кожен ділянку геному було прочитано в середньому 1,9 рази. Цього достатньо, щоб схарактеризувати геном лише в найзагальніших рисах, але надто мало для з'ясування багатьох цікавих питань. Річ у тім, що ДНК зберігається у викопних кістках переважно у вигляді коротких фрагментів з кількох десятків нуклеотидів. Якщо послідовність нуклеотидів у такому фрагменті не унікальна, то її не можна прив'язати до якогось конкретного місця в геномі.

І ось 30 серпня 2012 р. у журналі «Science» було надруковано статтю, в якій дослідники повідомили, що їм удалося значно підвищити якість секвенування геному денисівської людини. Вони досягли покриття 31 (99,4% нуклеотидів прочитано не менш як 10, а 92,9% — не менш як 20 разів), що не поступається секвенуванню ДНК-матеріалу від живої людини.

Виявилося, що ДНК належала дівчинці з темним волоссям, карими очима і смаглявою шкірою, яка померла 74–82 тис. років тому. Порівнюючи геноми денисівців із сучасною людиною та неандертальцями, вчені

встановили, що денісівська людина залишила найбільший слід у геномах нинішніх полінезійців і жителів островів Малайського архіпелагу.

Отже, змістову частину денісівського геному тепер реконструйовано з вражаючою точністю. Цього вдалося досягти завдяки новому методу роботи з давньою ДНК, який винайшов один із авторів згаданої статті Маттіас Майєр (Matthias Meyer). За його словами, «ніхто не очікував, що вдасться отримати такий високоякісний геном давньої людини. Всі були шоковані результатом, у тому числі і я». Таким чином, це наукове досягнення — не лише новина про ще один вид давньої людини, а насамперед триумфальне відкриття нової методики, яка тепер дасть можливість фахівцям розшифрувати ДНК інших викопних решток.

НОВИЙ ІНСТРУМЕНТ ГЕННОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Третю позицію у списку «Science» займає нова технологія генної інженерії під назвою TALEN (transcription activator-like effector nucleases). Це білок, здатний розрізати молекулу ДНК у потрібних місцях і потім зшити її, але вже по-іншому. TALEN — це гібридні білки, одну частину яких узятو в бактерій, а інша є нуклеазою, яка власне і робить розрізи в ДНК. Бактеріальний фрагмент зв'язується з невеликими фрагментами ДНК, а завдяки надзвичайній мінливості його можна пристосувати для розпізнавання майже будь-якої ДНК-последності.

До цього часу генетики в ролі «ДНК-ножиць» використовували так звані «цинкові пальці» — штучні цинковмісні білки, спеціально сконструйовані для зв'язування з певною последністю в ДНК і доповнені ферментами, що розщеплюють її на ділянки-мішені. Однак такі білки складно синтезувати, до того ж усі ключові патенти опинилися в розпорядженні однієї приватної компанії. Тому, коли в 2009 р. вперше заговорили про TALEN як більш досконалий ДНК-редактор, це викликало хвилю зацікавленості.

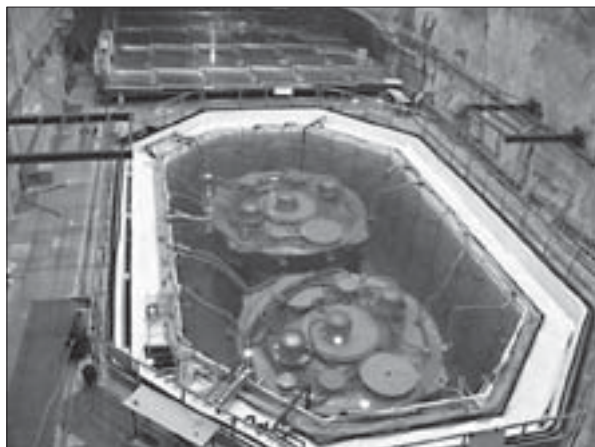
Нині TALEN — відпрацьована технологія, і деякі вчені вважають, що незабаром вона стане стандартною процедурою для всіх лабораторій, що займаються молекулярною біологією. Перспективи нової методики важко переоцінити. Наприклад, важливо знати, що робить той чи інший ген упродовж усього життя, чи змінюється його функція, чи продовжує він працювати і т.д. Донедавна з'ясувати це було неймовірно складно: вдавалося вимкнути певний ген ще на стадії ембріона, але ввімкнути його знов у вже дорослому організмі не виходило. І ось тепер ми маємо шанс дізнатися про «вікові» особливості генів. Крім того, експерименти проводили на тваринах, але їхній успіх дозволяє припустити, що за допомогою нової методики теоретично можливо вмикати чи вимикати гени людини, неправильне функціонування яких призводить до тяжких спадкових хвороб. Саме тому редакція журналу «Science» назвала технології TALEN «крилатою ракетою геноміки».

НЕЙТРИННА ОСЦИЛЯЦІЯ

Четверте місце серед найважливіших наукових подій 2012 р. посіли результати експерименту на нейтринних детекторах Дайя-Бей (Daya Bay Reactor Neutrino Experiment).

Цей експеримент у галузі фізики елементарних частинок з вивчення осциляцій нейтрино проводить багатонаціональна колаборація, до якої входять дослідники з Китаю (Інститут фізики високих енергій АН КНР), Росії (Об'єднаний інститут ядерних досліджень), США (Національна лабораторія Лоуренса в Берклі), Тайваню і Чехії. Установа розташована в Китаї, в містечку Дайя-Бей, за 52 км від Гонконгу і складається з 3 нейтринних детекторів. Джерелом антинейтрино для них є 6 атомних реакторів, розміщених на відстані 500 м від самих детекторів.

Фізиків цікавила осциляція нейтрино — здатність частинок змінювати свій тип, так званий «аромат». Є три типи нейтрино: електронні (народжуються в ядерних реакторах),



Нейтринний детектор проекту Дайя-Бей

мюонні (під час розпаду піонів) і тау-нейтрино (виникають у процесі зіткнення частинок у прискорювачах). У проекті Дайя-Бей досліджували перехід електронних нейтрино в мюонні й тау-нейтрино. Для опису осциляцій нейтрино використовують матрицю Понтекорво–Макі–Накагави–Сакати, у верхньому рядку якої стоять так звані кути змішування θ_{12} , θ_{23} , θ_{13} . Перші два кути вже відомі, а визначення третього, найменшого, і стало метою наукового експерименту.

8 березня 2012 р. колаборація Дайя-Бей заявила про те, що їм удалося виміряти параметр θ_{13} з достатньою статистичною значимістю — $5,2\sigma$. Експеримент виявив ненульове значення для кута змішування $\theta_{13} = 8,8 \pm 0,8$. Дослідники зізнаються: мало хто з них очікував, що цей кут виявиться таким великим.

Було також зафіксовано зникнення приблизно 6% електронних антинейтрино, породжених реакторами, але так і не зареєстрованих детекторами. Зрозуміло, вони не зникали, а переходили в інший стан — ставали мюонними чи таонними, — відбувалася власне осциляція.

Уже саме по собі визначення фундаментального параметра — це непересічна наукова подія, а встановлення ненульового значення θ_{13} означає, що існує асиметрія між нейтрино і антинейтрино, так зване CP-порушення. Цей факт, можливо, дасть фізи-

кам змогу пояснити, чому в нинішньому Всесвіті антиматерія зникла, а матерія збереглася — адже одразу після Великого вибуху антиматерія і матерія мали з'явитися в однакових частках. Факт такого домінування ніяк не пояснюється в рамках Стандартної моделі, що й робить експеримент у Дайя-Бей таким важливим.

ЕНЦИКЛОПЕДІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДНК

На п'ятій позиції було відзначено ще один прорив року в галузі біології — завершення проекту ENCODE (The Encyclopedia of DNA Elements). Це відкритий міжнародний науковий проект, спрямований на повний аналіз та систематичне дослідження всіх функціональних елементів геному людини, започаткований у вересні 2003 р. і фінансований Національним інститутом охорони здоров'я США. Над проектом працювали понад 440 фахівців із 32 лабораторій Сполучених Штатів Америки, Західної Європи, Японії та Сингапуру.

Коли в 1990-х роках учені працювали над іншим міжнародним проектом «Геном людини», очевидно, основну увагу вони приділяли саме генам, тобто фрагментам ДНК, що кодують білки. Їх усього 20 тис. із 3 млрд нуклеотидів, що становлять геном. Навіщо ж потрібна решта некодуючих послідовностей основ ДНК, було не зовсім зрозуміло, і тому вони ще в 70-х роках дістали зневажливу назву «сміттєвої» ДНК. Щоб розібратися з цією проблемою, генетики й започаткували ENCODE.

У вересні 2012 р. у найпрестижніших журналах світу, в тому числі в «Science» і «Nature», майже одночасно було опубліковано понад 30 наукових статей, присвячених завершенню десятирічного проекту ENCODE з вивчення некодуючої частини людського геному. Виявилося, що та сама «сміттєва» ДНК відіграє дуже важливу роль у життєдіяльності організму — близько 80% цих послідовностей виконують регуляторну функцію, керують генами, допомагаючи вмикати чи вимикати їх, стають основою для синтезу тих чи інших видів РНК, дозво-

ляють ефективно упакувати ДНК у хромосому і т.д.

Для біології результати цього дослідження надзвичайно важливі. Нині в рамках проекту ENCODE створюють повноцінну карту людського геному, в якій кожній ділянці приписано відповідну роль. «Це як Google Maps для геному, — пояснює один із координаторів програми. — У Google Maps можна знайти потрібне місце і розглянути його в усіх видах і аспектах. Так само і в ENCODE можна «наблизити» потрібну ділянку ДНК і розглянути її функціональність у всіх деталях».

НЕБЕСНИЙ КРАН

Шостий рядок у списку «Science» відведено технології «небесний кран» (Sky Crane), за допомогою якої марсохід «Curiosity» було філігранно спущено на поверхню планети.

Безсумнівно, найголовнішим досягненням у космічній галузі в 2012 р. стала посадка американського марсохода «Curiosity» на Червону планету. Світові засоби масової інформації приділили цій події неабияку увагу.

Mars Science Laboratory — космічна непілотована місія NASA з доставки й експлуатації планетохода третього покоління «Curiosity» на Марс. Старт ракети з марсоходом і посадковим модулем відбувся 26 листопада 2011 р.; 6 серпня 2012 р. «Curiosity» здійснив успішну посадку на поверхню планети, а 22 серпня — першу 16-хвилинну подорож по ній. Мета програми — з'ясувати, чи існувало колинебудь життя на Марсі, зібрати відомості про клімат і геологію планети, здійснити підготовку до висадки на Марс людини. Основна місія апарата за планом має тривати 1 марсіанський рік (686 земних діб). На сьогодні вартість проекту становить уже понад 2,5 млрд доларів США.

Проектування марсохода «Curiosity» тривало близько 5 років. Він важить набагато більше від своїх попередників — 900 кг (з них 80 кг наукового обладнання) порівняно з 185 кг «Spirit» та «Opportunity» і 10 кг «Sojourner». На відміну від попередніх місій,



Художнє зображення спуску марсохода «Curiosity» за допомогою технології «небесний кран»



«Автопортрет» марсохода «Curiosity»

марсоходи яких отримували електрику від сонячних батарей, для енергетичної системи «Curiosity» було обрано радіоізотопний (^{238}Pu) термоелектричний генератор, що дає змогу уникнути проблеми заповнення панелей і простоїв апарата в нічний час.

Однак найбільш унікальною операцією в місії стала посадка апарата на поверхню планети з використанням нової технології Sky Crane. Взагалі м'який спуск на поверхню Марса великої маси — дуже складне завдання. Атмосфера надто розріджена для

ефективного спрацювання парашутів чи аеродинамічного гальмування і разом з тим надто щільна, щоб створити проблеми зі стабілізацією при гальмуванні ракетними двигунами. Попередні марсоходи після входження в атмосферу спускали на надзвуковому парашуті, сповільнювали ракетними двигунами, а потім ще здійснювали амортизовану посадку на повітряні балони, але велика маса «Curiosity» не дозволяла використання такого варіанта посадки. Крім того, організатори місії вирішили спрямувати марсохід у район кратера Гейла, одного з найглибших кратерів на планеті, де, на їхню думку, можна найкраще вивчити глибинні шари марсіанського ґрунту і встановити геологічну історію планети.

Тому для посадки «Curiosity» інженери NASA після тривалих розрахунків створили абсолютно нову унікальну систему Sky Crane. Після входження в атмосферу планети і спуску спочатку на надзвуковому парашуті з висоти від 7 до 1,6 км, а потім за допомогою 8 гальмівних ракетних двигунів, керованих інтелектуальною системою, приблизно на висоту 20 м над поверхнею марсохід, так би мовити, випадає з-під посадкової платформи й зависає на міцних нейлонових тросах. Sky Crane повинен повністю загальмувати апарат на висоті близько 7,5 м, а потім плавно опустити його на тросах. Щойно датчики марсохода підтвердять, що він знаходиться на твердій поверхні, троси від'єднуються, а спусковий модуль відлітає вбік, щоб не пошкодити марсохід.

До речі, у грудневому номері журналу «Nature» було опубліковано статтю, де дуже яскраво і драматично описано, в якому нервовому напруженні перебувала команда марсіанського проекту під час іспиту в реальних умовах нової системи посадки.

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНИЙ ЗНІМОК БІЛКА

Сьомаю позицією в рейтингу відзначено нову технологію вивчення структури білків за допомогою рентгенівського лазера. Група дослідників із США та Німеччини вперше

побачила в усіх деталях структуру ключового ферменту, необхідного для виживання паразита *Trypanosoma brucei*, що викликає африканську сонну хворобу. Отримане зображення було в мільярди разів чіткішим, ніж одержані раніше за допомогою джерел синхротронного випромінювання.

Структурний аналіз біомолекул — справа взагалі непроста. До того ж найчастіше, перш ніж переходити до структурного аналізу з використанням рентгенівського випромінювання, джерелом якого зазвичай є синхротрон, спочатку потрібно виростити досить великий кристал протеїну в лабораторних умовах. На це може знадобитися від кількох днів до місяців.

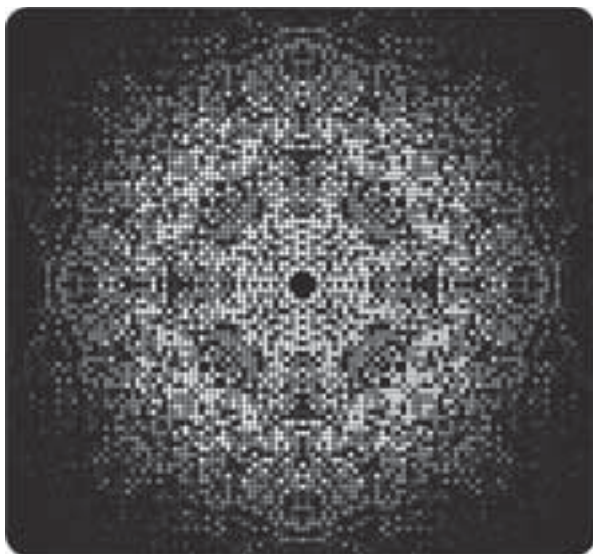
Учені обрали інший шлях. За допомогою вірусу дослідникам удалося помістити генетичний ескіз ферменту в живу клітину комахи. Інфікована клітина була змушена почати відтворення ферменту, що привело до постійного зростання його концентрації з наступною кристалізацією. Приблизно через 70 годин кристали мікронного розміру вже можна було побачити в мікроскоп.

Потім кристали вивчали з використанням найпотужнішого у світі рентгенівського лазера LCLS, що знаходиться в центрі SLAC у Каліфорнії. І хоча високоінтенсивне випромінювання випаровує кристали менш ніж за мільярдну частку секунди, яскравість спалаху була такою, що й цього часу вистачило для з'ясування деталізованої дифракційної картини кристала, що уможливило розрахунок усієї кристалічної структури ферменту.

Отже, рентгенівські лазери справді здатні на революційний переворот у структурній біології, й очікується, що апробований метод відкриє нові шляхи для вивчення біологічних молекул.

ВРАТА МОЗКУ

Восьме місце у списку посів новий нейронно-електронний інтерфейс BrainGate. Демонстрація результатів його клінічних випробувань відбулася у квітні 2012 р. Дослідники проекту BrainGate з Пенсільванії познайомили широку громадськість із 58-річною



Дифракційна картина структури білка

жінкою на ім'я Кеті, паралізованою впродовж 15 років. Вона, керуючи механічною рукою за допомогою сили думки, взяла зі столу пляшку кави, піднесла до рота, спокійно відсorbнула з трубочки і повернула її на місце.

У моторні зони кори великих півкуль головного мозку пацієнтки було хірургічно імплантовано мікрочип розміром з таблетку, з 96 виходами електродів, сполучений із невеликим пристроєм, закріпленим на голові. Коли жінка формує внутрішню команду своїй руці виконати певну дію, у нейронах моторної зони виникає характерний патерн активності, що фіксується електродами мікрочипа. Її паралізована рука, зрозуміло, залишається нерухомою, але мікрочип передає інформацію в комп'ютер, що керує роботизованим маніпулятором, який і відтворює потрібну дію.

Подібні технології, спрямовані на те, щоб дати можливість паралізованим людям спілкуватися зі світом, розробляють у багатьох лабораторіях світу вже не перше десятиріччя. Вони поки що експериментальні, недосконалі й надзвичайно дорогі, проте є надія на їх стрімкий розвиток і на те, що найближчим часом такі технології стануть доступні-

шими і зможуть допомогти тисячам людей з обмеженими можливостями.

МАЙОРАНІВСЬКІ ФЕРМІОНИ

На дев'ятій позиції було відзначено експеримент, результат якого може бути проявом існування ферміонів Майорани — таємничих елементарних частинок, що водночас є власними античастинками і можуть знищуватися самі собою. Вони дістали свою назву на честь молодого італійського фізика Етторе Майорани (Ettore Majorana), який у 1937 р. теоретично передбачив їх існування, однак досі такі частинки не було виявлено.

Фізики-теоретики припустили, що в особливих умовах колективний рух електронів може спричинити появу квазічастинок, що поведуться саме так, як мають поводитися майоранівські ферміони. Щоб зареєструвати ознаки такої квазічастинки, дослідницька група з Делфтського технічного університету (Нідерланди) створила спеціальний транзистор. Якщо у стандартному транзисторі напруга, прикладена до металевих електродів, зумовлює проходження струму через напівпровідник між двома іншими металевими електродами, то з теорії випливає, що, замінивши один із вторинних електродів надпровідником і подаючи струм через особливу напівпровідникову нанонитку під дією магнітного поля, можна очікувати від електронів у цій нанонитці колективної поведінки, яка свідчить, що на протилежному кінці нитки є ферміони Майорани. Так, достатня енергія електрона дозволить йому пройти крізь ферміон Майорани, який має знаходитися на іншому кінці нанонитки. Якщо ж подати струм через нормальний електрод до надпровідного без магнітного поля, то електрони відскакуватимуть від надпровідника, оскільки їхньої енергії не вистачить для проходження через ферміони. Отже, без магнітного поля струм на надпровідному електроді не з'явиться і напруга на ньому дорівнюватиме нулю, а вмикання магнітного поля дозволить електронам увійти в надпровідник і спричинити на виході стрибок напруги.

Такий стрибок і зареєстрували дослідники. Коли магнітне поле вимикали або міняли другий електрод на надпровідний, умови, теоретично необхідні для існування квазічастинок на зразок майоранівських ферміонів, зникали, а разом з ними зникав і стрибок напруги. Так було експериментально виключено будь-яку ймовірність, що цей стрибок напруги викликаний іншими причинами, а отже, вдалося надійно, хоч і непрямо, зафіксувати наявність ферміонів Майорани.

Майоранівські ферміони цікаві не просто як абстрактні нові елементарні частинки. Вони можуть мати практичне застосування для створення стабільного квантового комп'ютера, оскільки, як передбачають теоретичні розрахунки, ферміони Майорани мають «пам'ятати» свій колишній квантовий стан навіть після дії зовнішніх факторів.

ШТУЧНА ЯЙЦЕКЛІТИНА

Завершує рейтинг найвизначніших наукових проривів 2012 р. за версією журналу «Science» досягнення японських учених із Кіотського університету, які виростили з ембріональних стовбурових клітин миші функціональні яйцеклітини. Після запліднення та імплантації сурогатній матері з таких яйцеклітин народилися здорові мишенята, які у свою чергу дали життєздатне потомство. Запропоновану методику можна також застосовувати і для індукованих плюрипотентних стовбурових клітин, які отримують із клітин дорослого організму і пере-

програмовують так, що вони поводять себе як ембріональні стовбурові клітини.

Спершу дослідники обробляли стовбурові клітини мишей різними сигнальними білками і факторами росту, щоб запустити в них програму перетворення на гоноцити — у звичайного ембріона це попередники статевих клітин, як яйцеклітин, так і сперматозоїдів. До отриманих гоноцитів додавали допоміжні клітини з тканини донорських яєчників, попередньо видаливши з них усі статеві клітини. Після цього отриману суміш імплантували в яєчники мишей. Усередині організму гризунів формувалися структури, подібні до яєчників. У такому стані штучні гоноцити дозрівали і перетворювалися на яйцеклітини. Їх виділяли, проводили штучне запліднення й імплантували сурогатній матері. «Штучні» мишенята народилися здоровими, без будь-яких помітних відхилень. Раніше ця ж група вчених перетворила стовбурові клітини на сперматозоїди. Цей процес очікувано виявився дещо простішим — не потрібно було використовувати допоміжну донорську тканину.

Перетворення стовбурових клітин на статеві пов'язане з низкою труднощів, оскільки розвиток статевих і соматичних клітин відбувається зовсім різними шляхами. Це досягнення допоможе зрозуміти, як сигнали навколишніх тканин впливають на вмикання програми мейозу — особливого виду поділу клітин, унаслідок якого хромосомний набір зменшується вдвічі, і з'ясувати механізми регуляції цього процесу, які ще недостатньо вивчені.