

## Пет експеримента, трудни колкото и откриването на бозона на Хигс<sup>1</sup>

Н. Джонс

### *Откриване далечни сигнали за наличие на живот*

През 1999 г. David Charbonneau, студент в Харвардския университет в Кеймбридж, Масачузетс, стана първия човек, който измери нищожното отслабване на светлината от далечна звезда, предизвикано от преминаването на нейна планета пред нея. Днес подобни “пасажи” са рутинна процедура, чрез която астрономите откриват планети. Тънкостта е от такива наблюдения да се разкрие съставът на пранетата и на нейната атмосфера. Ако например се окаже, че атмосферата съдържа кислород, това би било една индикация за наличие на живот. Единственият начин да се регистрират подобни елементи е да се открие в спектъра на звездната светлина, преминала през планетната атмосфера – сигнал, който е абсурдно малък.

Като начало, обяснява Charbonneau, “частта от светлината на звездата, блокирана от планетата, е нищожно малка.” Планета с размерите на Юпитер, минавайки пред звезда с размерите на Слънцето, би закрила около 1% от светлината; а една по-малка, с размерите на Земята планета, би закрила около 0,01%. “След това вие трябва да наблюдавате онази тънка ципа около планетата – нейната атмосфера.” – казва Charbonneau. Само звездната светлина, която преминава през тази тънка ципа, носи спектралната информация, необходима на астрономите – а това е по-малко от един фотон на милион за звезда, подобна на Слънцето, и планета с размера на Земята.

Макар чувствителността на нито един днешен телескоп дори и не се доближава до необходимата за извличане на толкова слаб сигнал от звездната светлина, планетно-газови гиганти от мащаба на Юпитер имат атмосфери, много по-големи от тези на планетите като Земята и съответно спектралният сигнал при тях е по-голям, казва Charbonneau. Орбиталните обсерватории като космичните телескопи Хъбл и Спитцер от 2005 г. насам успяха да извлекат атмосферни спектри от около 40 газова гиганта. Въпреки че началните наблюдения срещнаха определен скептицизъм, казва ученият, “за газовите гиганти тази процедура, ако и да не е все още нещо рутинно, поне не е спорна. Сега усилията са съсредоточени върху планети като Земята, но в тази насока все още няма резултати.” Най-напреднали са изследванията на спектъра на една свръх-Земя, наречена GJ 1214b, чиито радиус е около 2,6 пъти по-голям от земния, и която обикаля около относително малка звезда, намираща се недалеч от Слънцето. Първите резултати от изследването на тази планета загатват, че тя притежава атмосфера, изпълнена с водни пари или облаци. Наблюденията на Charbonneau и колегите му, извършени с помощта на телескопа Хъбл потвърдиха това преди няколко месеца.

Определянето на състава на атмосферата на земеподобни планети, обикалящи около слънцеподобни звезди, което предоставя най-добри възможности за регистриране на биологична активност върху друга планета, изисква скок в чувствителността. Charbonneau се надява, че отдавна планираният и многократно отлаган от НАСА наследник на Хъбл, струващият 8 млрд долара космически телескоп Джеймс Уеб, чието извеждане в орбита сега се планира за 2018 г., наистина ще излезе в орбита. “Това би било фантастично” – казва той. “То би ни предоставило възможност да направим истински удар при търсенето на живот на другите планети.”

<sup>1</sup> Статията, чиито съкратен превод представяме, е публикувана в *Nature*, **481**, 14–17, (05 January 2012), doi:10.1038/481014a. (Бел. прев.)

### Поглед през молекулното огледало

В биологията съществува удивителна несиметричност. Много молекули са “кирални”, което означава, че техните атоми може да бъдат подредени по два начина, които са огледални образи един на друг. Когато синтезират такива молекули в лабораторията, химиците обикновено получават смес от двете форми, които те условно наричат дясно- или ляво-ориентирани. Живите клетки обаче, като правило съдържат само ляво-ориентираната версия. Никой не знае причината за това.



Възможно обяснение е фактът, че едно от четирите фундаментални взаимодействия в стандартния модел на физиката на частиците – слабото взаимодействие, което посредничи на взаимодействието между ядрата и електроните, влияе по различен начин на ляво- и на дясно-ориентираните молекули. Останалите сили, включително и гравитацията, са едни и същи в двата варианта на огледалната вселена. Теоретически, обяснява Benoît Darquié от Университета в Париж 13 Север, слабата сила би предизвикала енергетичните равнища в едната от киралните форми да се различават малко от тези на огледалния ѝ образ – типично с една част на  $10^{15}$  или на  $10^{20}$ . Така, ако едната форма има вибрационна честота примерно 30 THz, то честотата на нейния двойник би се различавала с няколко мили- или даже микрохерца.

Измерването на толкова нищожни разлики би могло да хвърли светлина върху загадката на асиметрията в биологията, казва Darquié, и неговата група опитва да прави точно това. Това би могло дори да доведе до определяне стойностите на някои параметри в теорията на слабото взаимодействие.

Доколкото Darquié знае, той и колегите му са единствените в света, които преследват подобна цел. Наистина, на него са му били необходими три години, за да събере колектив от необходимите физици–експериментатори, квантови теоретици и химици. Сега те трябва да направят пробив в решаването на два проблема. Първо, трябва да построят спектрометър с изключително голяма разрешителна способност при измерване енергетичните нива в киралните молекули. За сега техният най-добър инструмент може да установи разлики в енергетичните нива от порядъка на една част на  $10^{14}$ . Понастоящем те строят друг, още по-прецизен. За да постигнат подобна чувствителност, тяхната апаратура трябва да бъде изолирана от външни вибрации и поддържана при температура, чиито отклонения не надминават  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . А, за да измерва вибрационните честоти на молекулите с необходимата точност, Darquié's използва молекулен часовник, свързан посредством оптичен кабел с атомния часовник в Париж, който задава световния стандарт за време.

Второто предизвикателство към изследователите е да създадат тестови молекули, за които ефектът от асиметрията е достатъчно голям, за да допусне измерването му. Такава молекула трябва да съдържа голям централен атом, тъй като според теорията на атомите това максимизира разликата между енергиите в двете ѝ кирални форми. Освен това обаче тя не трябва да се разпада при нагряване за достигане на газообразно състояние, което е необходимо за спектроскопията. Колективът се обзалага, че най-добрата молекула би била нещо подобно на метилтриоксорениум, в която двата кислородни атома са заменени със сяра и селен. Учените полагат усилия да получат тези молекули в чисто ляво- или дясно-ориентирани форми. Дори и да намерят идеалната молекула, на тях ще им е необходима още една година, за да направят достатъчен брой измервания, които да им позволят да увеличат достатъчно отношението между сигнала и шума, така че да получат достоверно число.

Какво би станало, ако експериментът не реши загадката на биологичната асиметрия? Daquié казва, че това не би го разтревожило много, тъй като разработената техника би разкрила нови пътища за проверка на теориите във фундаменталната физика. Той казва още: “Повечето от точните проверки са направени във физиката на високите енергии, или при ниски енергии с помощта на атоми. Молекулите са по-сложни, така че те дават достъп към по-сложни въпроси.”

### ***В търсене на допълнителни измерения***

Това е един аспект на действителността, който е толкова фундаментален, че повечето от нас не могат да си представят нещо по-различно: светът има точно три пространствени измерения – ляво–дясно, напред–назад и нагоре–надолу. Теорията на суперструните обаче, както и други опити да се създаде “теория на всичко”, доведоха мнозина физици до предположението, че пространството е с повече измерения. Тези допълнителни измерения, както може да се предполага, са навити много силно и затова са скрити за всекидневната практика. Те обаче биха повлияли върху гравитацията при много малки мащаби, като породят сила между две маси, различаваща се малко от силата, предсказана от класическия закон на Нютон за гравитацията. Следователно един експеримент, способен да установи промени в гравитацията при тези мащаби, би бил способен да “види” допълнителните измерения.



Въртения в микрометрови мащаби в отсъствие на гравитация биха могли да установят отклонения от закона на Нютон, дължащи се на наличието на допълнителни пространствени измерения

Eric Adelberger от Вашингтонския Център за експериментална ядрена физика и астрофизика в Сиатъл чува тази идея за пръв път в един разговор през 1999 г. “Някои

хора помислиха, че това е лудост, други – че идеята е чудесна.” казва той. Но той и колегите му решават да я проверят. “Кое би могло да бъде по-вълнуващо от откритието, че нашата представа за размерността на света е била изцяло погрешна?”, казва той.

Избраният от учените инструмент представлява торзионна везна – по същество осъвременен вариант на оборудването, използвано от английския физик Хенри Кавендиш за първите лабораторни измервания на гравитацията в края на 18. век. В съвременната версия един метален цилиндър виси на нишка, която позволява на цилиндъра да се завърта свободно. Към дъното на цилиндъра е прикрепен диск, наречен детектор, в който в кръг са пробити дупки. Втори диск, наречен атрактор, със също такива дупки, е закрепен на само микрометри под първия. Когато атракторът се върти, веществото между неговите дупки действа с нищожни гравитационни сили на веществото изпълващо пространството между дупките на детектора. Тези сили усукват нишката, на която виси цилиндърът, карайки го да се завърти на ъгъл от порядъка на милиардни части от градуса.

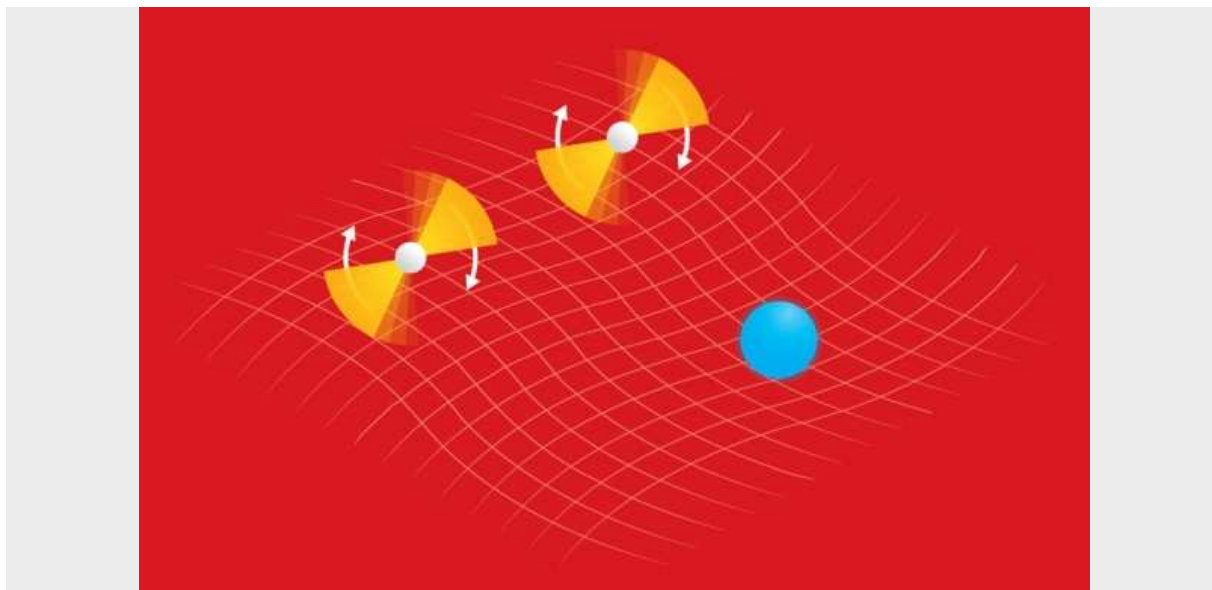
За да се осигури, че детекторът реагира на гравитацията, а не на нещо друго, апаратурата се прави изцяло от немагнитни материали, а всички повърхности са позлатени, за да се отведат всякакви електрични заряди. Устройството е направено с най-висока точност и защитено от всякакви вибрации, включително предизвиканите от колите, паркиращи отвън. “Ние получаваме най-добрите си резултати по време на уикендите в интервала от полунощ до 4 часа сутринта.”, казва Adelberger. “Обезсърчаващо е. Времето, през което получаваме добри данни е твърде кратко. Всичко прилича на детективска работа.”

Апаратурата позволява на експериментаторите да елиминират силата, която се подчинява на закона на Нютон и да изолират отклоненията: ако детекторът въобще се завърти, те знаят, че става нещо интересно. Сега за сега групата на Adelberger може да каже само, че ако съществуват допълнителни измерения, те не надминават 44 микрометра. Много са групите по света, които опитват да смъкнат надолу тази граница. Но колко дълго ще трябва да чакаме, докато се открие нещо, зависи от размерите на неуловимите измерения. Ако те са навити твърде силно, казва той, “отговорът е никога. Ако има поне едно измерение от порядъка на 30 микрометра, срокът е година.”

### *Улавяне на гравитационни вълни*

Момчешката енергия на Scott Ransom изглежда някак си не на място предвид неговото занимание: един проект, който може да даде резултат след десетилетие. Той е астроном в Националната радиоастрономическа обсерватория в Шарлотсвил, Вирджиния, и използва думи като “страхотни” и “екстра”, когато говори за най-точните природни галактични часовници – пулсарите – и как те могат да му дадат възможност да регистрира едно от най-фундаменталните предсказания на Айнщайновата обща теория на относителността: гравитационните вълни. “Това би отворило съвсем нов прозорец в нашата Вселена.” – казва той. “Тогавя ние бихме били в състояние да виждаме и с помощта на маса, вместо с помощта на светлина.”

Според Айнщайн, пояснява Ransom, гравитационните вълни представляват гребени в структурата на пространство-времето, предизвикани от движението на масите – например от орбиталното движение на двойка неутронни звезди. Това е точно като периодичното движение на един електрон, което предизвиква промени на електричното и на магнитното полета, които се разпространяват като светлина или други форми налъчение. “Когато карате едно масивно тяло да извършва периодично движение, вие излъчвате гравитационни вълни.” – казва той.



Нищожна промяна на времето между два импулса от пулсара би било указание за наличие на гигантски гравитационни вълни.

За нещастие, дори много голяма гравитационна вълна, обливаща Земята, би свила или разтегнала диаметъра ѝ със сам 10 нанометра или по-малко. Наземните опити за регистрация на толкова незначителни смущения, като провежданите от учени на Калтех, Пасадена и МИТ в Кеймбридж, са осъдени вечно да се мъчат да различат истинските сигнали от фонския шум, дължащ се на преминаващи камиони, на гръмотевични бури и даже на разбиването на вълните по плаж, намиращ се на стотици километри разстояние.

Ето защо, Ransom и ентузиазираният му колеги тръгват по път, който, надяват се, е по евтин: да наблюдават пулсарите. Някои от тези свръхплътни звезди се завъртат хиляди пъти в секундата, като всеки път излъчват импулс от лъчение, чиято честота астрономите могат да измерят с точност от порядъка на 100 наносекунди. Колективът се надява да наблюдава около 20 подобни пулсара, разпределени във всички небесни посоки и да търси отклонения във времената между последователните импулси, отклонения, предизвикани от нискочестотни гравитационни вълни, които свиват или разпъват пространство-времето между пулсара и Земята. Те очакват, че един от най-мощните източници на подобни вълни е “танцът” на масивни черни дупки в далечни сблъскващи се галактики – явление, чиито период е от порядъка на години.

Ransom е един измежду дузината учени, посветили се на това изследване, което се координира от консорциума International Pulsar Timing Array. Добрата новина е, че те не са принудени да инвестират в нови инструменти: устройства като радиотелескопа в Аресибо в Порто Рико могат да свършат работа. Лошото е, че пулсарите трябва да бъдат наблюдавани дълго време – около 10 години, за да се уловят тези гравитационни вълни, предизвикани от обикалящите черни дупки. Сега за сега те имат точни измервания върху само 6 пулсара, направени за около 5 години.

### ***Преопределяне на килограма***

Предполага се, че масата на един килограм е една не променяща се константа. Всъщност обаче, тя се променя поради старомодния начин за дефиниране чрез масата на един повече от 120 години стар цилиндър от платина и иридий, който лежи в подземие в покрайнините на Париж. Никой не знае дали “Големият К” става по-тежък от добавянето на атоми по повърхността му, или по-лек заради изтриване. Във всеки слу-

чай масата му се променя, тъй като масите на неговите копия, които при направата им са били точно като неговата, сега се различават забележимо от нея.

“Ние трябва да оправим нещата”, казва Jon Pratt, инженер от американския Национален институт за стандарти и технологии (NIST), който работи върху предефинирането. Той добавя, че килограмът понастоящем е единствената фундаментална единица, която все още се дефинира посредством физичен обект.

Основната идея е да се свърже килограмът с точно измерима фундаментална физична константа, по същия начин, по който сега метърът се дефинира чрез скоростта на светлината във вакуум: той представлява разстоянието, което светлината изминава за точно  $1/299\,792\,458$  секунди. За да се направи това за килограма, би означавало да се фиксира константата на Планк  $h$ , която е свързана с квантите на енергията чрез прочутата връзка с честотата на светлината:  $E = hv$ . Комбинирайки това уравнение с още прочутото  $E = mc^2$ , стигаме до дефиниция за килограм.

Определянето на точната стойност на константата на Планк е достатъчно трудно, но освен това и двата метода за предефиниране на килограма, които понастоящем се разработват, не се съгласуват достатъчно един с друг и това задържа предефинирането на килограма.

Единият от методите използва токова везна<sup>2</sup>. По същество тя представлява несложен комплект: на едното блюдо на везната се поставя тяло с маса 1 килограм, която е стандартизирана внимателно с парижкия прототип, а другото блюдо представлява намотка с ток, намираща се в магнитно поле. Полето се променя дотогава, докато теглото на тялото се изравни с магнитната сила, действаща на намотката. След това, посредством верига от равенства, тази сила може да се свърже с константата на Планк. На практика обаче нещата не са толкова прости. Изследователите трябва да измерват и други неща – например локалното земно гравитационно поле, което е най-големият източник на грешки, както и да елиминират влиянието на всевъзможни вибрации.

През 2007 г. с помощта на електронна везна Pratt направи най-точното измерване на константата на Планк –  $6,62606891 \cdot 10^{-34}$  J.s, с относителна грешка 36 части на милиард. Друг един подобен инструмент обаче, построен в Националната физическа лаборатория (NPL) в Тедингтон, Великобритания, който понастоящем се намира в Канада, даде резултат, различен от резултата в NIST, като разликата е малка, но все пак извън границите на експерименталните грешки.

Другият фаворизиран метод изисква преброяването на атомите в един образец от вещество с чист изотопен състав. Това би определило стойността на константата на Авогадро – броя на атомите в точно 12 грама от въглерод-12. Чрез друга верижка от равенства този брой може да се свърже отново с константата на Планк. През 2008 г. германски учени от Федералния институт за физични и технически проблеми в Брауншвайг започват работа с две почти идеални еднокилограмови кълба, направени от силиций-28 с чистота 99,995%. С помощта на лазерна интерферометрия те определят обемите на сферите, а с помощта на дифракция на рентгенови лъчи – кристалната им структура, така че могат да преброят атомите в тях с голяма точност. Получената от тях стойност за константата на Авогадро за сега е  $6,02214082 \cdot 10^{23}$ , с относителна грешка от 30 части на милиард. Когато този резултат се използва за пресмятане на константата на Планк, се получава стойност, която се съгласува с резултата от електронната везна на NPL, но не и този на NIST.

Що се касае до 2010 г., препоръчаната стойност за константата на Планк е  $6,62606957 \cdot 10^{-34}$  J.s, с относителна грешка от 44 части на милиард. Някои смятат, че това е достатъчно добре, за да се използва в новото определение за килограма. Други

<sup>2</sup> Всъщност, английският термин е “watt balance”. (Бел. прев.)

обаче искат измерванията да продължат, докато получените по различни методи числа съвпадат още по-добре и интервала на грешката стане още по-малък – до 20 части на милиард.