

НЕУСТОЙЧИВОСТ И ХАОС В СЛЪНЧЕВАТА СИСТЕМА

Акад. Стойчо Панчев,

Физически факултет, СУ "Св. Климент Охридски"

Феноменалният успех на Нютоновата динамика в макросвета и по-специално при приложението ѝ към проблемите на небесната механика, преди всичко към движението на небесните тела от Слънчевата система, утвърди схващането за безупречната подреденост и стабилност на тази система и на нейната предсказуемост за неограничен период от време в бъдеще. Пръв, който се усъмни в това преди един век, бе А. Поанкаре. Той не само се усъмни, но и доказа с известни до тогава и създадени от него средства от арсенала на класическата математика, че въпреки детерминистичния характер на Нютоновите уравнения на движение, тяхната нелинейност може да бъде източник на неустойчивост и в консервативни системи, каквато е Слънчевата, (а и всяка друга звездна или галактична система), да доведе до неперiodично, силно нерегулярно, случайно подобно движение, което в съвременна терминология наричаме детерминистичен хаос. Самият Поанкаре е бил шокиран от този свой теоретичен резултат и не го развива по-нататък. Следва половин век на “затишие” по проблема, когато се развива сега наречената КАМ-теория (Колмогоров-Арнолд-Мозер) и се появяват компютрите, без които съвременните постижения в тази област са немислими.

Явлението, за което става дума, води началото си от задачата за 2-те тела с маси M_1 , M_2 в небесната механика, решена изчерпателно още от самия Нютон. Всяко от тях, Слънцето и Земята, Земята и Луната, двойните звезди и т.н. се движат по елиптични орбити около общия гравитационен център на системата. Добавянето само на едно (трето) тяло изменя коренно ситуацията. Задачата става аналитично нерешима. Ако обаче третото тяло е много по-малко по маса от другите две ($m_3 \ll M_1, M_2$), задачата се решава сравнително лесно. Резултатът е, че освен периодични и квазипериодични орбити са възможни и хаотични траектории на m_3 в реалната конфигурация на M_1 и M_2 .

Освен познавателно, в този резултат има и конкретно практическо значение. Слънчевата система “гъмжи” от множество малки тела в нея – астероиди, комети, а във втората половина на 20-ти век и изкуствени спътници. Те са “прашинки” в сравнение с големите тела – Слънце, планети и техните естествени спътници. Следователно, движението на тези малки тела може да бъде описано със схемата $m_3 \ll M_1, M_2$. Нека например се интересуваме от изпращане на космически апарат до Луната. Едно от решенията е това да стане по елипсата на Хохман, която тангира до ниска околоземна стартова орбита на спътника и до такава около Луната. По този начин космонавтите на Аполо достигнаха до Луната за 3 дни. Възможно е обаче и друго решение, отчитащо хаотичността на траекторията на малкото тяло в реалната конфигурация Земя-Луна. “Неудобството е, че за такъв полет ще са нужни 10 000 години. Но хаотичните орбити са необикновено чувствителни към малки корекции. Така времето може да се намали до практически приемливи граници при големи икономии на гориво и увеличен товар. За превозване на товари за бъдещи строежи на Луната това е от значение, но за пътнически рейсове е неприемливо. Принципът за контрол над хаотичните траектории на малки небесни тела обаче е с обща приложимост и може да се използва например за

предпазване на Земята от бъдещи космически катастрофи при опасност от сблъсквания с астероиди или комети.

Друг пример от този вид е астероидният пояс между Марс и Юпитер (над 4000 картотекирани), може би останки от планета на това място. Големи тела са Слънцето и Юпитер, а малките – астероидите. Съгласно теорията, при определени “резонансни” периоди T_A и T_J на обиколка около Слънцето са възможни неустойчиви орбити на малките тела, “внезапни” нараствания на ексцентрицитета на орбитите им и напускане на пояса. Точно това се наблюдава в разпределението на астероидите на този пояс. Подобно обяснение може да се даде и на “празнината на Касини” в знаменития пръстен на Сатурн. В тези примери имаме демонстрация на орбитален хаос на малки тела.

Що се отнася до самите планети и техните спътници и до Слънчевата система като цяло, то нещата са по-сложни. Още Поанкаре показва, че тя вероятно не е устойчива, макар че откакто съществува тя не дава реални признаци за това. Обаче най-нови числени експерименти с Нютоновите уравнения на движение показват, че начална грешка от 15 метра в определяне на положението на Земята върху орбитата ѝ след 10 милиона години ще нарасне на 150 m, а след 100 милиона години – на 150 милиона километра, т.е. колкото е разстоянието между Земята и Слънцето. За първия срок предсказуемостта е практически перфектна, а за втория - тотално компрометирана. Подобни резултати има и за други планети от Слънчевата система. В това далечно бъдеще Земята пак ще обикаля около Слънцето между Венера и Марс, но сезоните ще бъдат календарно изместени, което едва ли е толкова важно.

Драматични последствия биха настъпили ако хаосът се прояви в промяна на разстоянието на планетите, включително на Земята, до Слънцето или в друг астрономически параметър, от който зависи количеството на получаваната лъчиста енергия от Слънцето. При ограничена траектория (т.е. орбита) разстоянието може да се промени поради нерегулярни промени в ексцентрицитета (l) на орбитите - от почти кръгови ($l \rightarrow 0$) до силно сплеснати ($l \rightarrow 1$) и обратно. При големите планети (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) такова нещо се смята за невъзможно, но при малките (Земя, Марс, Венера) е възможно за срок от порядъка на възрастта им. Теоретически Марс може да “срещне” Земята, а Меркурий – Венера или да “изпадне” от Слънчевата система.

Друг параметър, който може да се намира в хаотичен режим, е наклонът Θ на собствените оси на въртене на планетите спрямо орбиталните им равнини (които почти съвпадат с равнината, в която самата Слънчева система лежи). В сегашната епоха Θ има следните стойности: Меркурий – 0° , Венера – 178° , Земя – $23,44^\circ$, Марс – $23,98^\circ$, Юпитер – $3,12^\circ$, Сатурн – $26,73^\circ$, Нептун – $29,56^\circ$, Уран – $97,86^\circ$, Плутон – 50° . Бавните промени на Θ , наречени прецесия, са добре известни. За Земята тя е с период 26 000 г., а хаотични такива са невъзможни поради стабилизиращата роля на Луната. Ако я нямаше прецесията, тя би имала период 75 000 г., а Θ щеше да се колебае и хаотично от 0° до 90° . Такава е ситуацията с Марс. Меркурий сега е в регулярен режим на Θ , но в миналото е попадал в хаотичен. Най-загадъчна е Венера с $\Theta = 178^\circ$ и обратно на другите планети околоосно въртене. Смята се, че това е свързано с хаотичност в миналото ѝ.

Промените на Θ (прецесионни и хаотични) са важни, защото от тях зависи географското разпределение на лъчистата слънчева енергия, постъпваща към

планетата, в частност Земята. Това определя климата и условията за евентуално възникване и еволюция на живот върху планетата. В това отношение Земята е уникална вероятно не само в границите на Слънчевата система.

Има още едно явление, което трябваше да се има предвид наред с коментираните до тук. Това е така нареченото инерционно движение на Слънцето около центъра на масите на Слънчевата система. То се дължи на променливото положение на планетите в нея и преди всичко на най-големите (Юпитер и Сатурн), на които се пада 93 % от масата на цялата планетна система. Областта, в която Слънцето осъществява това движение, е с размер 4,4 слънчеви радиуса - почти колкото разликата между най-голямото и най-малкото разстояние от Земята до Слънцето при обиколката ѝ по елиптичната орбита. Както се вижда, това представлява истинска задача за 3 тела. Решена числено относно движението на Слънцето, се получава интересен резултат:

Епохи на регулярни траектории се редуват с епохи на хаотични. Първите траят около 50 г., а вторите - около 180 г. заедно с преходния период, т.е. напълно обозрими. Нещо повече, забелязва се корелация на инерционното движение на Слънцето с неговата активност – висока в епохите на регулярност и ниска в тези на хаотичност (напр. минимумът на Маундер). Ако това е причинно-следствена връзка, тя би могла да има прогностично значение. Последната епоха на регулярност е 1910-1960 г. Сега, до 2040 г., се намираме в епоха на хаотичност. Според някои автори вулканичната дейност на Земята и климатът също реагират (пряко или косвено) на този вид движение на Слънцето, което между другото води до вариации с около 0,1 % на изпращаната към Земята лъчиста енергия. По такъв начин земни явления се оказват свързани не само с Луната, но и с най-големите планети на Слънчевата система.

Но най-интересният пример за хаотично поведение на голямо небесно тяло от Слънчевата система, наблюдавано сега, в реално време, е спътникът Хиперион на планетата Сатурн. Той обикаля около нея за 21 денонощия по орбита с необичайно голям ексцентрицитет ($e \approx 0,1$). По своята орбита той изпитва ротационен хаос – за няколко обиколки скоростта на въртене и наклонът на оста му претърпяват значителни промени (хаотичен “танц”). Причина за това е силно асферичната му форма. По данни на Voyager-2 размерите му са 190/145/114 km с ± 15 km грешка. Този факт е много важен, защото води до това, че трите главни оси на инерционния елипсоид на спътника са различни. Но както е известно от механиката на твърдите тела, въртенето около дългата и късата ос е устойчиво, а около средната – неустойчиво. Периодът на въртене на спътника около оста му е 13 денонощия и не е синхронизиран с периода на въртене около Сатурн, какъвто например е случаят с нашата Луна (резонанс 1:1). Хиперион е твърде далече от Сатурн и слабо усеща приливното му влияние, а освен това е в орбитален резонанс 4:3 с Титан, също спътник на Сатурн. Поради това орбитата му не може да намали ексцентрицитета си и да се доближи до кръгова с течение на времето, както е нормално. Тогава и хаосът в поведението му би изчезнал. За това Хиперион е уникален пример в наше време за голямо тяло от Слънчевата система с регулярна орбита и хаотично въртене. То бе предсказано теоретично, а данните от Voyager-2 го потвърдиха.

Хиперион обаче не е единствен спътник в Слънчевата система с неправилна форма. Такива са и спътниците Фобос и Деймос на Марс. Сега тяхното поведение е регулярно, но съгласно числените модели, в миналото Деймос е прекарал 100 милиона, а Фобос 10

милиона години в състояние на ротационен хаос. Същото се предполага и за по-малката луна на планетата Нептун, наречена Нереида.

Признаци за хаотично поведение в наше време се забелязват засега само при най-външната планета Плутон. Орбитата му се пресича с тази на Нептун, но сблъскване е изключено поради специфично синхронизиране на движенията им. Други характеристики според възможните сега наблюдения имат твърде нерегулярни изменения с времето, обаче тестовете за хаос не водят до определено заключение. Ако нови наблюдения покажат, че тази планета е в хаотичен режим, това ще промени сегашната представа в това отношение за останалите планети, независимо че Плутон е малка планета. Това, разбира се, не означава, че “още утре” планетите ще започнат да се блъскат една с друга. По принцип хаотичното поведение е ограничено и означава преди всичко непредсказуемост.

Космически хаос присъства и е присъствал навсякъде в Слънчевата система, особено в историята на вътрешните ѝ планети. Изобщо организацията на планетната система е силно свързана с хаотичната ѝ еволюция. Сега обаче резонансите и гравитационно-приливни връзки между тях водят до това, че Слънчевата система като цяло може да се разглежда като практически устойчива във времеви мащаби от порядъка на възрастта ѝ – 5 милиарда години.

Следователно, няма основание за тревога!

СЪОТНОШЕНИЕТО ЗА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТ НА ШРЬОДИНГЕР И НЕГОВИТЕ МИНИМИЗИРАЩИ СЪСТОЯНИЯ

(Във връзка със 70-годишнината на оригиналната работа на Е. Шрьодингер [4])

Димитър Трифонов, ст.н.с. в ИЯИЯЕ при БАН

1. Принципът за неопределеност на Хайзенберг

Принципът за неопределеност (недетерминираност) е един от основните в квантовата физика. Той откроява фундаменталната разлика между квантовото и класическо описание на природата. Принципът за неопределеност е въведен през 1927 г. от Хайзенберг [1] на примера на каноничните квантови наблюдаеми координата $\hat{x}$ и импулс $\hat{p}_x$ във вида $\delta p_x \delta x = h$ със смисъл на невъзможност за едновременно измерване на $\hat{x}$ и $\hat{p}_x$ с точност по-голяма от константата на Планк h ($h = 1,05 \cdot 10^{-27}$ erg.s): *"Колкото по-точно е определено положението, толкова по-неточно е известен импулсът и обратно"* [1]. В това Хайзенберг е виждал "пряката нагледна интерпретация" на каноничното комутационно съотношение между операторите на координатата и импулса $[\hat{x}, \hat{p}_x] = i\hbar$, $[\hat{x}, \hat{p}_x] \equiv \hat{x} \hat{p}_x - \hat{p}_x \hat{x}$. Близки по смисъл твърдения за невъзможност на едновременната определеност на двете канонични наблюдаеми $\hat{x}$, $\hat{p}_x$ са изказани в 1926 г. и от Дирак и Йордан. Да напомним, че всяка физична величина (наблюдаема) X в квантовата физика се представя с ермитов оператор $\hat{X}$ в хилбертовото пространство на състоянията.

Много скоро след Хайзенберговата статия [1] Кенард и Вайл [2] доказват неравенството

$$(\Delta p_x)^2 (\Delta x)^2 \geq h^2/4 \quad (1)$$

където $(\Delta p_x)^2$ и $(\Delta x)^2$ са дисперсиите (средноквадратичните отклонения) на $\hat{p}_x$ и $\hat{x}$, дефинирани от Вайл за всяко квантово състояние $|\psi\rangle$ чрез формулата $(\Delta p_x)^2 := \langle \psi | (\hat{p}_x - \langle \psi | \hat{p}_x | \psi \rangle)^2 | \psi \rangle$, и аналогично за $\hat{x}$. Матричният елемент $\langle \psi | \hat{X} | \psi \rangle \equiv \langle \hat{X} \rangle$ е средната стойност на наблюдаемата $\hat{X}$ в състояние $|\psi\rangle$. Квадратният корен ΔX от дисперсията се нарича стандартно отклонение.

В съответствие с класическата теория на вероятностите стандартното отклонение ΔX се приема за мярка за неопределеността (флуктуациите) на наблюдаемата $\hat{X}$ в съответното състояние $|\psi\rangle$. В 1930 г. Дичбърн [R. Dichburn, Proc. Royal Irish Acad. **39**, 73 (1930)] установява връзката между вайловите Δx и хайзенберговите δx [именно $\Delta x = \delta x$], и доказва, че равенството на Хайзенберг $\delta p_x \delta x = h/2\pi$ се постига само за гаусови вероятностни разпределения. Тъкмо за такива

разпределения Хайзенберг и получава своето съотношение, опирайки се на свойствата на преобразованието на Фурие.

Неравенството на Хайзенберг–Вайл–Кенард (1) става известно като *съотношение за неопределеност* на Хайзенберг.

Обобщение на (1) за произволни две квантови наблюдаеми (ермитови оператори) $\hat{X}$ и $\hat{Y}$ прави Робъртсън в 1929 г. [2],

$$(\Delta X)^2(\Delta Y)^2 \geq \frac{1}{4} |\langle [\hat{X}, \hat{Y}] \rangle|^2. \quad (2)$$

Неравенството на Робъртсън (2) става известно отново като съотношение за неопределеност на Хайзенберг и се разглежда като математична формулировка на принципа за неопределеност на Хайзенберг за две квантови наблюдаеми. Предвид инерцията, но и съществения принос на Робъртсън, ние ще наричаме (2) неравенство на Хайзенберг–Робъртсън.

2. Неравенство на Шрьодингер

Съотношението за неопределеност на Хайзенберг–Робъртсън (2) и/или неговият частен случай (1) са неотменна част на почти всеки учебник по квантова механика. От класическата теория на вероятностите обаче е известно, че две случайни величини имат три втори момента: дисперсиите на двете величини и тяхната *ковариация*. В съотношението (2) влизат само два от тях – дисперсиите на $\hat{X}$ и $\hat{Y}$. Това пръв забелязва Шрьодингер, който в работата си от 1930 г. [4] извежда по-общото неравенство

$$(\Delta X)^2(\Delta Y)^2 - (\Delta XY)^2 \geq \frac{1}{4} |\langle [\hat{X}, \hat{Y}] \rangle|^2, \quad (3)$$

където с ΔXY означихме ковариацията на $\hat{X}$ и $\hat{Y}$, $\Delta XY := (1/2) \langle \hat{X}\hat{Y} + \hat{Y}\hat{X} \rangle - \langle \hat{X} \rangle \langle \hat{Y} \rangle$. Отношението $r = \Delta XY / \Delta X \Delta Y$ се нарича коефициент на корелация между двете наблюдаеми. В класическата теория на вероятностите нулевата ковариация е необходимо, но не достатъчно условие за статистическа независимост на две случайни величини. Ненулева ковариация означава по-силна корелация на двете физични величини.

За координатата и импулса (3) приема по-простия вид $(\Delta x)^2(\Delta p_x)^2 - (\Delta x p_x)^2 \geq \hbar^2/4$. По-икономично е, вместо с $\hat{x}$ и $\hat{p}_x$, да се работи с безразмерните $\hat{Q} = \hat{x} \sqrt{m\omega/\hbar}$ и $\hat{P} = \hat{p}_x / \sqrt{m\hbar\omega}$, където m и ω са параметри с размерност на маса и честота. За тях неравенството на Шрьодингер придобива вида

$$(\Delta Q)^2(\Delta P)^2 - (\Delta QP)^2 \geq 1/4 \quad (4)$$

а неравенството на Хайзенберг – $(\Delta q)^2(\Delta p)^2 \geq \frac{1}{4}$.

В състояния с нулева ковариация на $\hat{X}$ и $\hat{Y}$ неравенството на Шрьодингер се свежда към това на Хайзенберг–Робъртсън и в този смисъл е по-общо. То е и по-точно,

защото представлява по-силно ограничение за стойността на произведението на дисперсиите. Въпреки тези си достоинства, неравенството на Шрьодингер липсва в почти всички учебници. За съотношението (3) се заговори в научната литература едва през последните две десетилетия [за пръв път, доколкото ни е известно, в [5] (50 г. след откриването му!)] във връзка с теоретичното описание и експерименталната реализация на т.нар. *скуиз-състояния* (СС) на електромагнитното лъчение [6, 7].

Друго хубаво свойство на съотношението на Шрьодингер (3) (в сравнение с (2)) е неговата форм-инвариантност спрямо линейни неизродени преобразувания на двете наблюдаеми [8]. Ако от $\hat{X}$, $\hat{Y}$ преминем към $\hat{X}' = \lambda_{11}\hat{X} + \lambda_{12}\hat{Y}$, $\hat{Y}' = \lambda_{21}\hat{X} + \lambda_{22}\hat{Y}$ ще получим, че лявата и дясната страна на (3) се преобразуват по еднакъв начин – чрез умножение с $(\det \Lambda)^2$, където Λ е 2 x 2 матрицата от коефициентите на преобразуванието λ_{ij} . От тук следва, че ако в дадено състояние имаме равенство в (3) за $\hat{X}$ и $\hat{Y}$, то равенството остава в сила и за линейно преобразуваните наблюдаеми $\hat{X}'$ и $\hat{Y}'$. Ковариантността на неравенството на Хайзенберг–Робъртсън е силно ограничена: двете му страни се преобразуват еднакво само при мащабните преобразувания $\hat{X}' = a\hat{X}$, $\hat{Y}' = b\hat{Y}$. Това означава, че равенството в (1) е неинвариантно спрямо линейните канонични преобразувания на координатата и импулса, в частност и спрямо ротация във фазовата равнина.

Мащабните преобразувания и ротациите образуват две различни подгрупи в групата на линейните канонични преобразувания. Естествено е тогава да се потърси друго съотношение за неопределеност, което да е инвариантно спрямо ротациите във фазовото пространство. Оказа се, че такова неравенство съществува – то има простия вид

$$(\Delta q)^2 + (\Delta p)^2 \geq 1. \quad (5)$$

Неравенството (5) е по-неточно в смисъл, че неговата минимизация влече равенство както в (4), така и в (1). Най-точното неравенство (шрьодингеровото (4) е най-симетрично – равенството в него е инвариантно спрямо всички неизродени линейни преобразувания на двете канонични наблюдаеми. За произволни наблюдаеми (5) има вида $(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 \geq |\langle [\hat{X}, \hat{Y}] \rangle|$.

3. Минимизация на съотношенията за неопределеност

Интересът към минимизацията на съотношенията за неопределеност се засили след откритието на *кохерентните състояния* (КС) на електромагнитното поле през 1963 г. (от американските физици Глаубер, Сударшан и Клаудер, независимо един от друг [9]) и особено след това на *скуиз-състоянията* (СС) [6, 7]. По-долу ще разгледаме основните свойства на състоянията, минимизиращи тези неравенства за каноничната двойка $\hat{P}$, $\hat{Q}$ (**3. А. и 3. Б.**) и за някои неканонични наблюдаеми (като компонентите на спина и квази-спина (**3. В.**)). Състоянията, които минимизират дадено съотношение за неопределеност СН се наричат още (СН-) интелигентни състояния, състояния с (СН-) минимална неопределеност и състояния с (СН-) оптимална неопределеност.

3. А. Минимизация на неравенството на Хайзенберг.

Както може да се види от (3) и (2), минимизацията на съотношението за неопределеност на Хайзенберг-Робъртсън е частен случай на минимизацията на съотношението на Шрьодингер, съответстващ на състояния с нулев коефициент на корелация между двете наблюдаеми. Фактически пръв е минимизирал съотношението (1) самият Хайзенберг, показвайки, че при гаусово разпределение на x от вида $\exp[-(x - x')^2/(\delta x)^2]$ е в сила равенството $\delta x \delta p_x = \hbar/2$. Минимизацията на (2), (4) или (3) *не е разглеждана* в работите на Робъртсън [3] и Шрьодингер [4].

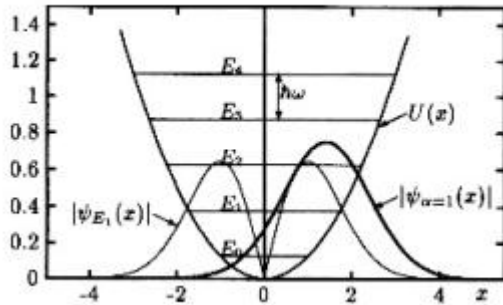
Глауберови КС. Широко известни минимизиращи състояния са откритите през 1963 г. КС на електромагнитното поле, които се приемат като *състояния на идеалното монохроматично лазерно лъчение*. Те са дефинирани от Глаубер като (нормирани) собствени състояния на не-ермитовия оператор $\hat{a}$ на унищожение на фотона, $\hat{a}|\alpha\rangle = \alpha|\alpha\rangle$, където комплексното число α е собствената стойност на оператора $\hat{a}$. Тези състояния притежават редица забележителни физични и математични свойства, които доведоха до широкото им приложение в най-различни области на съвременната теоретична и математична физика.

Преди да опишем свойствата на глауберовите КС ще бъде полезно да напомним и **стационарните състояния** $|n\rangle$ (съответна вълнова функция – с $\psi_n(x)$) на хармоничния осцилатор. Стационарните състояния на всяка квантова система се дефинират като състояния с определена енергия, т.е. като собствени състояния на оператора на енергията (хамилтониана) $\hat{H}$. За масовия осцилатор (частица с маса m в параболична потенциална яма $U(x) = m\omega^2 x^2/2$) $\hat{H} = \hat{p}^2/2m + m\omega^2 x^2/2$. Неговите собствени стойности са дискретни и равноотстоящи, $E_n = \hbar\omega(n + 1/2)$, $n = 0, 1, \dots$. Разликата между съседните нива е $\hbar\omega$. Преходът от $|n\rangle$ към $|n - 1\rangle$ се осъществява с действието върху $|n\rangle$ с оператора $\hat{a} = (\hat{q} + i\hat{p})/\sqrt{2}$, а към $|n + 1\rangle$ – с ермитово спрегнатият $\hat{a}^\dagger = (\hat{q} - i\hat{p})/\sqrt{2}$. Това показва, че $\hat{a}$ и $\hat{a}^\dagger$ могат да се разглеждат като оператори на унищожение и раждане на фотон с планковска енергия $\hbar\omega$, $\hat{a}^\dagger \hat{a}$ – като оператор на броя на фотоните, а $|n\rangle$ – като състояния с n фотона. В контекста на електромагнитното поле обаче $\hat{p}$ и $\hat{q}$ нямат смисъл на координата и импулс. За полето в едномерен резонатор (кухина) $\hat{q}$ е пропорционален на интензитета на електричното, а $\hat{p}$ – на магнитното поле (Loudon and Knight [7]).

Развитието във времето (еволюцията) $|n; t\rangle$ на началните $|n\rangle$ за осцилатора е $\exp(-iE_n t/\hbar)|n\rangle$, което значи че вероятностното разпределение на координатата $|\psi_n(x, t)|^2$ е статично: $|\psi_n(x, t)| = |\psi_n(x)|$. На фиг. 1 са показани енергетичните нива E_n и графиките на $U(x)$ и на $|\psi_1(x)|$ за осцилатор с честота $\omega = 1/4$ и маса $m = 4$. Във всяко $|n\rangle$ средната координата и импулс са равни на нула. Векторите $|n\rangle$ са ортонормирани и образуват пълна система в пространството на състоянията, което значи, че всяко друго състояние е суперпозиция от стационарните.

Глауберовите КС $|\alpha\rangle$ са с нулева ковариация на каноничната двойка наблюдаеми и минимизират неравенството (1) с еднакви дисперсии на $\hat{q}$ и $\hat{p}$: $(\Delta q)^2 = 1/2$, $(\Delta p)^2 = 1/2$. Това е *минималната възможна стойност* на равни дисперсии на каноничната двойка наблюдаеми $\hat{q}$, $\hat{p}$. Във всяко друго състояние поне едната дисперсия е по-

голяма от $1/2$. В частност това означава, че в КС $|\alpha\rangle$ електричното и магнитно полета имат минимални флуктуации. Съответно за масовия осцилатор $|\alpha\rangle$ са състоянията с най-добре определената траектория във фазовото пространство.



Фиг. 1. Енергетични нива, потенциална енергия $U(x)$ и модули на вълновите функции на стационарното състояние $|\psi_n(x)|$ с $n = 1$ и на КС $|\psi_\alpha(x)|$ с $\alpha = 1$ на хармоничния осцилатор. Графиката на $|\psi_n(x)|$ е статична, а максимумът на $|\psi_\alpha(x)|$ се движи хармонично както класическата частица.

Средната стойност на координата съвпада с най-вероятната ѝ стойност и за стационарния осцилатор зависи от t хармонично, точно както координатата на класическата частица. В този смисъл тези квантови състояния са "максимално класични". КС $|\alpha\rangle$ са безкрайна суперпозиция от $|n\rangle$ и в тях средната енергия на осцилатора е равна на $\hbar\omega(|\alpha|^2 + 1/2)$. На фиг. 1 е приведена графиката на модула на вълновата функция $|\psi_\alpha(x, t)|$ за $\alpha = 1$ и $t = 2k\pi/\omega$, $k = 0, 1, \dots$

КС $|\alpha\rangle$ притежават и други "класични" свойства: минимална енергия на квантовите флуктуации, поасоново разпределение на фотоните [$P_n(\alpha) = |\alpha|^{2n} \exp(-|\alpha|^2)/n!$], положителни квази-разпределения на Вигнер и на Глаубер–Сударшан. Последното свойство, както е известно, позволява квантово-механичните средни стойности на величините да се представят коректно като средни стойности на величини в класическата статистическа физика.

Струва си да подчертаем физическия смисъл на свойството на КС $|\alpha\rangle$ да са собствени състояния на $\hat{a}$: унищожаването на фотон в КС не променя това състояние на полето (с точност до нормировъчен член). Унищожаването на n фотона също не променя КС $|\alpha\rangle$, тъй като то е собствено състояние на всички степени на $\hat{a}$. Това необикновено свойство е характерно само за безкрайните суперпозиции от стационарните състояния $|n\rangle$, каквото е $|\alpha\rangle$. Именно "безкрайността" компенсира изваждането на n -те фотона. За разлика от $\hat{a}$, операторът на раждане $\hat{a}^\dagger$ няма собствени състояния.

От забележителните математични свойства на глауберовите КС ще отбележим тяхната свръхпълнота и "орбиталност". Първото означава, че те образуват свръхпълна система от вектори в хилбертовото пространство, което позволява произволно състояние да се представи като (непрекъсната) суперпозиция от КС $|\alpha\rangle$: $|\psi\rangle = (1/\pi) \int |\alpha\rangle \langle\alpha|\psi\rangle d^2\alpha$. Пълнотата дава възможност за представяне на състоянията като аналитични функции на α (респективно като функции във фазовото пространство), а операторите –

като диференциални оператори. Например $\hat{a} = d/d\alpha$, $\hat{a}^\dagger = \alpha$. Това *представяне на КС* дава възможност да се използват мощните аналитични методи за решаване на различни задачи от квантовата физика, както и за по-пълното изясняване на връзките между квантовото и класическото описание на физичните системи.

Другото математично (всъщност и физично) свойство се състои в това, че състоянията $|\alpha\rangle$ представляват орбита на фамилията унитарни оператори на Вайл $\hat{D}(\alpha) = \exp(\alpha \hat{a}^\dagger - \alpha^* \hat{a})$, минаваща през вакуумното състояние $|0\rangle$: $|\alpha\rangle = \hat{D}(\alpha)|0\rangle$. Казваме, че глауберовите КС се генерират от вакуума с действието на операторите на Вайл. Операторите на Вайл образуват унитарно представяне на групата на Вайл-Хайзенберг. Още през 1963 г. Клаудер предположи, че свръхпълни системи от състояния могат да се строят с помощта на унитарни представяния и на други групи. Тази възможност за групата $SO(3)$ бе реализирана от английския физик Радклиф в 1971 г. (спинов КС), а за групата $SO(1, 2)$ - от Переломов в 1972 г. (квази-спинов КС). Переломов показва, че орбитите на неприводимите унитарни представяния на всяка група на Ли образуват свръхпълна система. Операторите на квантовата еволюция на системи със симетрия представляват оператори на унитарни представяния на съответните групи на симетрия. Това подсказва как да се генерират физически нови фамилии състояния чрез еволюцията на известни начални състояния.

Общ вид на състоянията, минимизиращи (1). Глауберовите КС не са най-общите състояния, които минимизират съотношението на Хайзенберг. Очевидно е, че ако в (1) едната дисперсия нараства k -пъти, а другата намалява k -пъти, то равенството в (1) няма да се наруши. Такова изменение на дисперсиите може да се постигне, ако на КС $|\alpha\rangle$ се подейства с унитарния оператор $\hat{S}(s) = \exp[s(\hat{a}^{\dagger 2} - \hat{a}^2/2)]$, където s е реален параметър [D. Stoler, Phys. Rev. D1, 3217 (1970)]. В състоянията $|\alpha, s\rangle = \hat{S}(s)|\alpha\rangle$ имаме $\Delta p = e^{-s}/\sqrt{2}$ и $\Delta q = e^s/\sqrt{2}$. Състоянията, в които Δq или Δp е под стойността им във вакуума, т.е. под $1/\sqrt{2}$, бяха наречени *скуиз-състояния* (от squeeze - стискам, изцеждам). $|\alpha, s\rangle$ са най-общите състояния, които минимизират неравенството на Хайзенберг (1). Тези състояния обаче са *крайно нестабилни*. Ако осцилаторът се приготви в момент $t = 0$ в състояние $|\alpha, s\rangle$ с $s \neq 0$, то при $t > 0$ той излиза от това състояние и равенството в (1) се нарушава. В допълнение, в еволюиращото състояние $|\alpha, s; t\rangle$ неизбежно се появява ковариацията на $\hat{Q}$ и $\hat{P}$, която не се отчита в съотношението на Хайзенберг. В картината на Хайзенберг операторът на еволюцията действа като ротация на ъгъл $-\omega t$ във фазовата равнина.

За разлика от (1), неравенството (5) е инвариантно спрямо ротация във фазовата равнина, което обяснява стабилността на минимизиращите състояния $|\alpha\rangle$ спрямо свободната осцилаторна еволюция. Именно (5) е съотношението за неопределеност, което се минимизира единствено от глауберовите КС.

Б. Минимизация на неравенството на Шрьодингер. Скуиз-състояния.

Минимизацията на шрьодингеровото неравенство (4) за пръв път бе разгледана в 1980 г. от Додонов и съавтори [5], където бе показано, че собствените състояния $|\beta, \lambda\rangle$ на оператора $\lambda \hat{Q} + i \hat{P}$, минимизират (4) при всяко комплексно λ и β . При $\text{Im}\lambda = 0$ имаме $\Delta qp = 0$ и решенията $|\beta, \lambda\rangle$ съвпадат с горните $|\alpha, s\rangle$. При комплексни λ

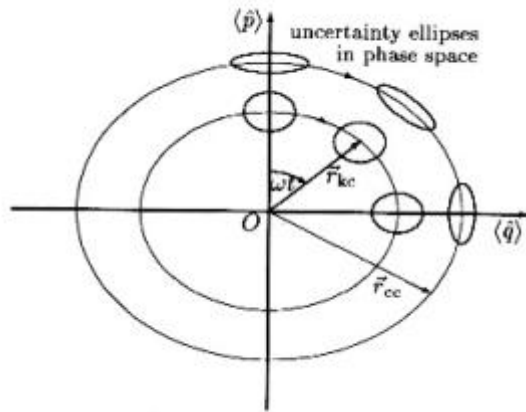
състоянията $|\beta, \lambda\rangle$ се оказаха съвпадащи [8] с предвидливо въведените от Столър в 1970 г. състояния $|\alpha, \zeta\rangle = S(\zeta)|\alpha\rangle$, където $S(\zeta) = \exp[(\zeta \hat{a}^{\dagger 2} - \zeta^* \hat{a}^2)/2]$, $\zeta \in \mathbb{C}$. Семействата $\{|\alpha, \zeta\rangle\}$ получи широка известност като фамилия на *каноничните скуиз-състояния*, а унитарният оператор $S(\zeta)$ - *скуиз-оператор* [7].

Каноничните СС могат да се дефинират като минимизиращи неравенството на Шрьодингер (4) състояния, т.е. като решения на уравнението [8]

$$(\mu \hat{a} + \nu \hat{a}^{\dagger})|\alpha, \mu, \nu\rangle = \alpha|\alpha, \mu, \nu\rangle. \quad (6)$$

където μ и ν са комплексни параметри, $|\mu|^2 - |\nu|^2 = 1$. От (6) идва и другото означение $|\alpha, \mu, \nu\rangle$ за скуиз-състоянията. За $|\alpha, \zeta\rangle$ имаме $\mu = \text{ch}|\zeta|$, $\nu = -\text{sh}|\zeta|\exp(i \arg \zeta)$. При $\nu = 0$ се възпроизвеждат КС $|\alpha\rangle$. Свободната осцилаторна еволюция на СС $|\alpha, \mu, \nu\rangle$ е стабилна и за електромагнитното лъчение те се *реализират експериментално* (скуиз-светлина) [7]. СС $|\alpha, \mu, \nu\rangle$ могат да се реализират чрез пропускане на лазерно лъчение (глауберови КС) през оптично нелинейни среди: взаимодействието на лъчението със средата може да се опише с квадратичен по $\hat{a}$ и $\hat{a}^{\dagger}$ хамилтониан, което води до оператор на еволюция точно от вида на скуиз-оператора $S(\zeta)$.

Вълновата функция $\psi_{\alpha}(x; \mu, \nu)$ на $|\alpha, \mu, \nu\rangle$ е квадратична експонента по x , частен случай на която е и вълновата функция на глауберовите КС. Това подсказва, че някои от свойствата на двата вида състояния ще са близки. Пример на такива близки свойства е кръговият характер на траекториите във фазовото пространство на осцилатора (вж фиг. 2) и съвпадението на средните координати и импулси с най-вероятните (Да забележим, че в стационарните състояния траекторията е изродена в точка и няма съвпадение на средните с най-вероятните стойности).



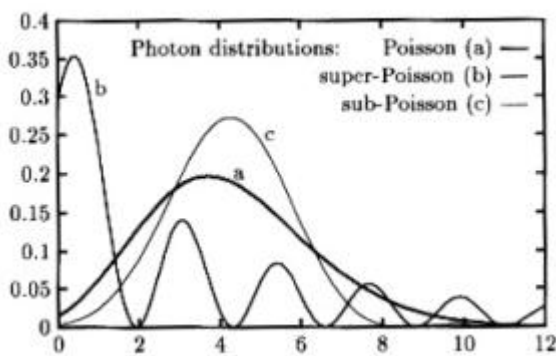
Фиг. 2. Траектории на средните стойности на $\mathbf{p}$ и $\mathbf{q}$ и елипси на неопределеността в КС $|\alpha, t\rangle$ (окръжност с радиус r_{KC}) и $|\alpha, \mu, \nu, t\rangle$ (окръжност с радиус r_{CC}) на стационарния осцилатор. Средните стойности осцилират с честота ω , а дисперсиите – с 2ω . При $\alpha = 0$ (вакуум и скуиз-вакуум) траекториите се израждат в точка ($r_{KC} = 0 = r_{CC}$).

Движението на центровете на вълновите пакети на $|\alpha, \mu, \nu, t\rangle$ и $|\alpha, t\rangle$ е с еднакъв период $2\pi/\omega$ (докато в $|n, t\rangle$ картината е статична). Флуктуациите на $\hat{q}$ и $\hat{p}$ се менят също хармонично с времето, но с честота 2ω , като сумата им остава постоянна.

Постоянна остава и площта на елипсата, определена с уравнението $(\Delta p)^2(q - \langle q \rangle)^2 + (\Delta q)^2(p - \langle p \rangle)^2 - 2\Delta qp(q - \langle q \rangle)(p - \langle p \rangle) = \text{const.}$ Ъгълът на наклона на голямата ѝ ос към абсисната ос се определя от ковариацията Δqp . Тази елипса е известна като *елипса на неопределеността*. Тя още се нарича и елипса на равните вероятности или елипса на Вигнер, тъй като вигнеровото разпределение за $|\alpha, \mu, \nu\rangle$, е постоянно върху нея.

Въпреки функционалната близост на вълновите функции на СС $|\alpha, \mu, \nu\rangle$ и КС $|\alpha\rangle$ по някои физични свойства тези състояния силно се различават. Главното отличие разбира се е скуиз-ефектът, което и дава названието им "скуиз-състояния". При $\nu \rightarrow \mu$ ($\nu \rightarrow -\mu$) флукутацията на $\hat{Q}$ (на $\hat{P}$) клони към нула (идеален скуизинг – идеални СС).

Друго отличие, което интензивно бе дискутирано в литературата, е неположителността на квази-разпределението на Глаубер–Сударшан. Поради нарушението на положителността на последното $|\alpha, \mu, \nu\rangle$ станаха широко известни като *некласически състояния*. Тази некласичност е тясно свързана със скуиз-ефекта – редукцията на флукутациите на $\hat{Q}$ или $\hat{P}$ в дадено квантово състояние е достатъчно условие за отрицателността на квази-разпределението на Глаубер–Сударшан. Третото отличие е свързано с фотонните разпределения. Поасоновото разпределение на фотоните в лазерното лъчение (то се описва с глауберовите КС $|\alpha\rangle$) се счита за класическо. Негова характерна черта е равенството на дисперсията на броя на фотоните с тяхната средна стойност. Това равенство се нарушава в състоянията $|\alpha, \mu, \nu\rangle$ с $\nu \neq 0$. Разпределение с $(\Delta n)^2 > \langle \hat{n} \rangle$ се нарича супер-поасоново, а с $(\Delta n)^2 < \langle \hat{n} \rangle$ – суб-поасоново (графики b и c на Фиг. 3).



Фиг. 3. Фотонни разпределения в шрьодингеровите минимизиращи състояния $|\alpha, \mu, \nu\rangle$ при един и същ среден брой фотони $\langle \hat{a}^\dagger \hat{a} \rangle \cong 4,22$. Осцилациите са характерни за състояния с $\nu \neq 0$. В случаите (b) и (c) те продължават до $n \rightarrow \infty$, но за (c) са почти незабележими в дадения мащаб.

Отново съществува връзка с неположителността на квази-разпределението на Глаубер–Сударшан: последното е неположително, ако $(\Delta n)^2 < \langle \hat{n} \rangle$. Поради тази причина състоянията със суб-поасонови разпределения се считат за некласични. Експериментално суб-поасоновостта се проявява като ефект на *антигрупировка на фотоните* (невъзможност за детектиране на фотони в произволно близки моменти от време). Максимална суб-поасоновост (идеална фотонна антигрупировка или максимална некласичност) имат състоянията с определен брой фотони, за които $\Delta n = 0$.

Характерна черта на суб- и супер-поасоновите разпределения е тяхната осцилация. На фиг. 3 са показани графики на суб- и супер-поасонов разпределения в $|\alpha, \mu, \nu\rangle$.

В. Минимизиращи състояния за неканонични наблюдаеми.

Едно *важно приложение* на състоянията $|\alpha, \mu, \nu\rangle$, минимизиращи неравенството (4) за каноничната двойка $\hat{P} - \hat{Q}$, бе посочено от Кейвс в 1981 г. [6] при анализа на интерферометрични измервания на слаби сигнали, например детектиране на гравитационни вълни. Оказа се, че точността на измерванията може значително да се повиши, ако лазерната светлина, която се описва с глауберовите КС, се замени със скуиз-светлина, описвана с СС $|\alpha, \mu, \nu\rangle$. Това даде тласък на търсенето на скуиз-състояния и за други (неканонични) двойки наблюдаеми $\hat{X}, \hat{Y}$, т.е. на състояния на полето с редуцирани квантови флуктуации на $\hat{X}$ или $\hat{Y}$. В [8] бе предложено такива състояния да се строят като минимизиращи състояния на (3). Това неравенство се минимизира в състояние

$|\psi\rangle$ само ако $|\psi\rangle$ е собствено състояние на (изобщо комплексна) комбинация на $\hat{X}$ и $\hat{Y}$, т.е.

$$(u \hat{A} + v \hat{A}^\dagger)|z, u, v\rangle = z|z, u, v\rangle, \quad (7)$$

където $z, u, v \in \mathbb{C}$, $\hat{A} = \hat{X} + i\hat{Y}$. Уравнението показва, че при $v \rightarrow u$ ($v \rightarrow -u$) решението $|\psi\rangle$ трябва да клони към собствено състояние на $\hat{X}$ (на $\hat{Y}$), т.е. при $v \rightarrow u$ ($v \rightarrow -u$) квантовите флуктуации на $\hat{X}$ (на $\hat{Y}$) трябва да клонят към нула. Следователно решенията на (7), когато съществуват, са идеални скуиз-състояния за всяка двойка наблюдаеми (кратко $\hat{X} - \hat{Y}$ СС).

Уравнението (7) е решено за двойките генератори (наблюдаеми) K_1, K_2 и J_1, J_2 на групите $SU(1, 1)$ и $SU(2)$ [8]. Оказа се, че състоянията $|z, u, v\rangle$ съдържат в себе си стандартните $SU(1, 1)$ и $SU(2)$ КС [9], т.е. всички тези групови КС минимизират неравенството на Шрьодингер за първата двойка генератори. Генераторите на $SU(1, 1)$ и $SU(2)$ имат важни бозонни реализации. Например K_i се реализират чрез една двойка бозе-оператори $\hat{a}, \hat{a}^\dagger$ във вида $\hat{K}_1 = \frac{1}{4}(\hat{a}^2 + \hat{a}^{\dagger 2})$, $\hat{K}_2 = (i/4)(\hat{a}^2 - \hat{a}^{\dagger 2})$, $\hat{K}_3 = \frac{1}{4}(2\hat{a}^\dagger\hat{a} + 1)$. Състоянията $|z, u, v\rangle$ за тази реализация могат да проявят редукция на квантовите флуктуации както на $\hat{K}_1$ или $\hat{K}_2$, така и на $\hat{Q}$ или $\hat{P}$, като в някои случаи това има място едновременно (съвместен скуизинг на две некомутиращи наблюдаеми [8]). При еволюция на свободното поле състоянията $|z, u, v\rangle$ остават, подобно на $|\alpha, \mu, \nu\rangle$, стабилни. Това значи, че ако лъчение се приготви (излъчи) в такива състояния, то остава стабилно при разпространението си във вакуум. *Схеми за генериране* на едномодова и двумодова светлина в състояния от фамилията $|z, u, v\rangle$ са предложени в няколко статии. Бриф и Ман [C. Brif and A. Mann, Phys. Rev. A **54**, 4505 (1996)] показаха, че светлина в състояния $|z, u, v\rangle$ за $\hat{K}_2 - \hat{K}_3$ и $\hat{J}_2 - \hat{J}_3$ може да бъде използвана за решително повишаване на точността на интерферометричните измервания.

Шрьодингерови минимизиращи състояния са построени в явен вид за всяка една от трите двойки наблюдаеми $K_i - K_j$ (компонентите на квази-спина) и $J_i - J_j$ (компонентите на спина). Съществуват ли състояния на системи с $SU(1, 1)$ ($SU(2)$) симетрия, в които съотношението на Шрьодингер да се минимизира *едновременно* за трите двойки наблюдаеми $K_i - K_j$ ($J_i - J_j$)? Отговорът на този въпрос е положителен: такива състояния с максимално балансиран флукуации на K_i са *само* Клаудер-Переломови КС със симетрия. За горната едномодова реализация на $SU(1, 1)$ тези групови КС са известни като скуиз-вакуумни състояния и в нашите означения са $|\alpha = 0, \mu, \nu\rangle$. В предната точка видяхме, че те минимизират и съотношението на Шрьодингер за $\hat{Q}$ и $\hat{P}$. Значи скуиз-вакуумните състояния са единствените с такава *максимална минимизираща "способност"*. Точно тях е използвал Кейвс [6] за повишаване точността на интерферометричните измервания.

Обобщения на неравенството на Шрьодингер.

Съотношенията за неопределеност на Хайзенберг и Шрьодингер ни дават количествен израз на статистическите корелации между две наблюдаеми в едно състояние. Два естествени въпроса могат веднага да бъдат формулирани: има ли статистически корелации а) едновременно между няколко наблюдаеми в едно състояние? б) между наблюдаемите в две и повече състояния? Положителният отговор на първия въпрос е даден от Робъртсън [Phys. Rev. **46** 794 (1934)] чрез доказване на неравенството $\det \sigma \geq \det C$, където σ е матрицата на дисперсиите на n наблюдаеми $\hat{X}_1, \dots, \hat{X}_n$, а C е матрицата на средните стойности на комутаторите, $C_{jk} = -(i/2)\langle[X_j, X_k]\rangle$. При $n = 2$ това неравенство е идентично със шрьодингеровото (3).

Вторият въпрос също има положителен отговор [D. Trifonov, J. Phys. **A33** (2000) L296]. Ето какво е инвариантното обобщение на съотношението на Шрьодингер (4) за две състояния $|\psi\rangle$ и $|\phi\rangle$,

$$\frac{1}{2}[(\Delta_{\psi} \hat{Q})^2 (\Delta_{\phi} \hat{P})^2 + (\Delta_{\phi} \hat{Q})^2 (\Delta_{\psi} \hat{P})^2] - |\Delta_{\psi} \hat{Q} \hat{P} \Delta_{\phi}| \geq \frac{1}{4}. \quad (8)$$

При $|\psi\rangle = |\phi\rangle$ (8) съвпада с (4). Горното съотношение не е сума или произведение на две шрьодингерови неравенства (4). То не може да се представи като сума или произведение на две величини, зависещи само от $|\psi\rangle$ или $|\phi\rangle$. Такива съотношения наричаме *сплетени*. Неравенството (8), както и (4), съдържа само вторите статистически моменти на $\hat{Q}$ и $\hat{P}$, които са измеряеми величини. Експерименталната проверка на (8) ще представлява още едно потвърждение, надяваме се, на хилбертовия модел на квантовата физика.

Литература

- [1] W. Heisenberg, "Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik, Z. für Phys. **43**, 172-198 (1927). (получена на 23.03.1927).
- [2] E. H. Kennard, Zur Quantenmechanik einfacher Bewegungstypen, Z. für Phys. **44**, 326-352 (1927); H. Weyl. Gruppentheorie und Quantenmechanik (Leipzig, Hirzel, 1928).
- [3] H. P. Robertson, The uncertainty principle, Phys. Rev. **34**, 163-164 (1929). (получено на 18.06.1929).

[4] E. Schrödinger, *Zum Heisenbergschen Unschärfeprinzip*, Sitz. Preus. Acad. Wiss. (Phys.-Math. Klasse), **19**, 296-303 (1930) [Перевод на русский язык в сборнике *Эрвин Шредингер. Избранные труды по квантовой механике* (Москва, 1976), а на английский – в *Bulg. J. Phys.* **26** (1999) 193].

[5] V. V. Dodonov, E. V. Kurmyshev and V. I. Man'ko, *Generalized uncertainty relation and correlated coherent states*, Phys. Lett. A **79**, 150 (1980).

[6] C. M. Caves, *Quantum-mechanical noise in an interferometer*, Phys. Rev. D **23**, 1693 (1981).

[7] R. Loudon and P. Knight, *Squeezed light*, J. Mod. Opt. **34**, 709-759 (1987) (обзор); Д. Н. Клышко, *Неклассический свет*, УФН **166**, 613-638 (1996) (обзор).

[8] D. A. Trifonov, *Generalized intelligent states and squeezing*, J. Math. Phys. **35**, 2297 (1994); *Robertson intelligent states*, J. Phys. A **30** (1997) 5941.

[9] J. R. Klauder and B.-S. Skagerstam, *Coherent states -- Applications in physics and mathematical physics* (W. Scientific, 1985).

София, ноябрь 2000

ДУАЛНОСТ, ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЕ И КВАНТОВА МЕХАНИКА

Едуард Уитън, Професор по физика в Института за перспективни изследвания в Принстън, Ню Джързи.

Съществувалите в продължение на няколко десетилетия твърде различни насоки в теоретичната физика в последно време се сляха и станаха части от една обща теория. Резултатът е една още по-загадъчна "М-теория", която може да преобрази нашето схващане за ролята на квантовата механика.

Целта на тази статия е да бъдат представени някои насоки в теоретичната физика, които се развиваха независимо в продължение на много години, в някои случаи даже десетилетия, а после доста неочаквано започнаха да се сливат някъде към 1994-95 гг. Това сливане предизвика поврат, който понякога се нарича “втора суперструнна революция”. По свой начин той е толкова значителен, колкото е и “първата суперструнна революция” от периода 1984-85 гг., когато за пръв път беше широко признато, че струнната теория по принцип може да даде единно описание на природните закони.

Фиг. 1 показва някои от насоките, чието сливане ще обсъдим тук. Тяхното разнообразие е част от очарованието на втората суперструнна революция, в която търсенето на свръхобединение на силите в природата доведе до забележителна нова перспектива, възникнала от синтеза на езотеричните идеи във физиката на високите енергии с твърде земните изследвания на физическите свойства на калибровъчните теории в четири измерения.

Електрично-магнитна дуалност

Ще започнем с малко физика от края на 19 в. Уравненията на Максвел за електрично и магнитно поле във вакуум **E** и **B**

$$\nabla \times \mathbf{B} = \partial \mathbf{E} / \partial t, \quad \nabla \times \mathbf{E} = - \partial \mathbf{B} / \partial t,$$

са симетрични относно преобразуванията:

$$\mathbf{E} \rightarrow \mathbf{B}, \quad \mathbf{B} \rightarrow - \mathbf{E},$$

известни почти толкова отдавна, колкото и самите уравнения на Максвел. Тази симетрия е известна като дуалност.

Тази симетрия е валидна също в присъствието на заряди и токове, ако се добавят едновременно електрични и магнитни заряди и токове. В природата подобна симетрия като че ли се нарушава от факта, че наблюдаваме електрични заряди, но не наблюдаваме магнитни заряди (обикновено наричани магнитни монополи).

По-общо казано, симетрията се нарушава, когато изведем магнитното поле от векторния потенциал $\mathbf{A}$ по формулата $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$, докато електричното поле (в статични условия) се представя като градиент на скалар.

Но векторният потенциал не е просто едно удобно средство за решаване на Максвеловите уравнения. Той се оказва необходим за физиката на 20 в. по три много съществени причини:

- > Да се напише уравнението на Шрьодингер за електрон в магнитно поле.
- > Да се направи възможен изводът на Максвеловите уравнения от Лагранжиан; това е необходима стъпка за квантовомеханичната разработка на електромагнетизма.
- > За да е възможно да се напише изобщо нещо за не-Абелевата калибровъчна теория, която според съвременните представи на физиката на елементарните частици е изходен пункт в описанието на силните, слабите и електромагнитните взаимодействия.

Макар по такъв начин да изглежда невъзможно да има симетрия между електричните и магнитните заряди в квантовата теория на полето, определено съществуват полеви теории с електрични и магнитни заряди, както това беше показано в работите на Джерард 'т Хуфт и Александър Поляков от 1970-те години. За слабата връзка - единствената област, в която по традиция може да се разбере поведението на квантовите теории на полето, - електричните и магнитните заряди се извяват по съвършено различни начини. Ще напомним, че в случая на електромагнетизма слабата връзка означава, че константата на фината структура

$$\alpha = e^2/4\pi\hbar c$$

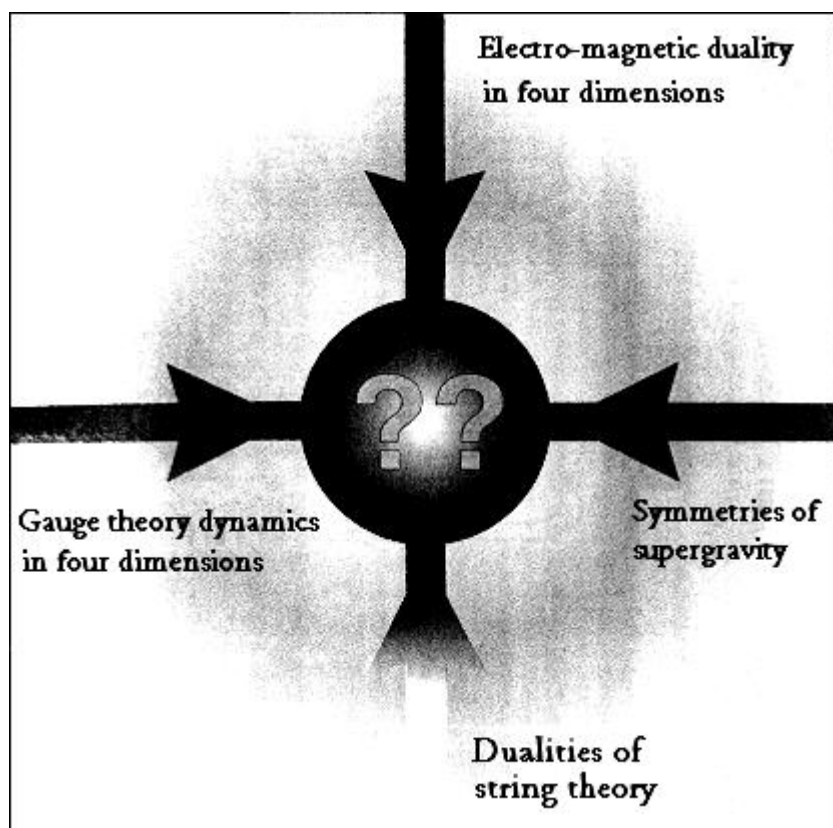
е малка. Тук e е основната единица на електричния заряд и е също така константа на връзката в квантовата електродинамика.

За слаба връзка електричните заряди представляват елементарни кванти, получени при квантуване на полетата. Електричният заряд q на всяка частица е от вида $q = ne$ с цяла стойност на n .

За разлика от тях магнитните монополи възникват при слабите взаимодействия като колективни възбуждания на елементарните частици. В границата на слаби взаимодействия тези колективни взаимодействия представляват солитони - пространствено протяжни решения на нелинейни класически уравнения. Магнитният заряд m на всяка частица, получаван от квантуването на такъв солитон, е цяло кратно на един фундаментален квант на магнитния заряд, който (по известния анализ на Дирак) е равен на $2\pi\hbar c/e$. Следователно

$$m = 2n'\pi\hbar c/e$$

с цяла стойност на n' .



Фиг. 1. ВТОРАТА СУПЕРСТРУННА РЕВОЛЮЦИЯ беше резултат от конвергенцията на четири основни теми. Започваме от върха и вървим в кръг по часовата стрелка: електрично-магнитната дуалност в четиримерно пространство; странните симетрии на супергравитацията; неклассическите симетрии на струнната теория, нарушаващи класическите понятия за пространство и време; динамика на калибровъчната теория в четири измерения.

(Текстове във фигурата: Електрично-магнитна дуалност в четири измерения;

Симетрии на супергравитацията; Дуалности на струнната теория; Динамика на калибровъчната теория в четири измерения)

Казано накратко, изглежда, че в съвременната физика има твърде дълбоки причини за липсата на симетрия между електричеството и магнетизма. И все пак през 1977 г. Клаус Монтонън и Дейвид Олив забелязаха изненадваща симетрия между електричеството и магнетизма в класическата граница на една определена четиримерна полева теория. (Въпросният модел беше граничен случай на приетия по това време модел на слабите взаимодействия.) Монтонън и Олив забелязаха, че в този модел масата M всяка частица с електрични и магнитни заряди q и m се представя с красива симетрична формула

$$M = \langle \phi \rangle (q^2 + m^2)^{1/2},$$

където $\langle \phi \rangle$ е константа, представляваща мярка за нарушението на калибровъчната симетрия. Те допуснаха, че в теорията има точна симетрия, която разменя q и m .

Симетрия, която разменя електричните и магнитните заряди, трябва да заменя кванта на електричния заряд с кратна стойност на кванта на магнитния заряд. Например в случая на Монтонън и Олив трансформацията е

$$e \leftrightarrow 4\pi\hbar c/e$$

и следователно

$$\alpha \leftrightarrow 1/\alpha.$$

Такава симетрия ще разменя електричните и магнитните полета, така че за класическия наблюдател ще прилича на дуалността на Максвеловите уравнения. Най-после такава симетрия трябва да разменя елементарните кванти с колективни възбуждания, доколкото при слабите взаимодействия електричните заряди възникват като елементарни кванти, а магнитните заряди възникват като елементарни възбуждания.

Аналогични явления вече бяха познати в математическата физика на $1 + 1$ измерения (едно пространствено и едно времево измерение), които намериха полезни приложения във физиката на двумерни кондензирани системи като тази на двумерния ефект на Хол. Но едва ли някой можеше да очаква подобна физика в $3 + 1$ измерения.

Проверката на дуалността на Монтонън - Олив не беше възможна през 1970-те и 1980-те години, преди всичко защото дуалността разменя α с $1/\alpha$. Невъзможно е α и $1/\alpha$ едновременно да бъдат малки, така че - поне в рамките на квантовата полева теория на слабите взаимодействия - не е възможно дуалността да бъде проверена.

Но преди този проблем да изпадне в забравата, изникнаха няколко ценни идеи. Една от тях беше, че дуалността на Монтонън - Олив има повече смисъл при суперсиметрия.

Суперсиметрия

Суперсиметрията е предполагаема симетрия между фермионите и бозоните. Това е специфично квантовомеханична симетрия, доколкото самото понятие фермиони е квантовомеханично. Бозонните величини могат да се описват с обикновени (комутиращи) числа или с оператори, които комутират. Фермионните величини включват антикомутиращи числа или оператори.

Исторически двумерната суперсиметрия възникна през 1970 г., когато Пиер Рамон откри по какъв начин фермионите могат да се включат в теорията на струните. Суперсиметрията беше формулирана като четиримерна симетрия от Джулиъс Уес и Бруно Дзумино през 1974 г. Независимо от тях до нея стигнаха Юри Голфанд и Евгени Лихтман през 1971 г.

Суперсиметрията е такова обобщение на специалната теория на относителността (СТО), което включва както фермионните, така и бозонните симетрии на пространство-времето. Когато развива теорията на относителността, Айнщайн приема, че пространство-времето са бозонни; фермионите тогава още не са били открити! При суперсиметрията структурата на пространство-времето се обогатява от наличието както на бозонни, така и на фермионни координати.

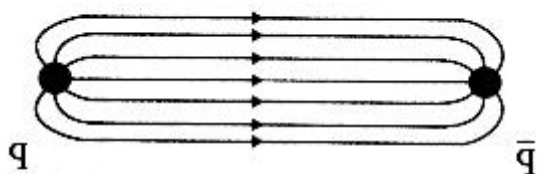
Така че, ако е вярна суперсиметрията, тя обяснява *защо* фермионите съществуват в природата. Суперсиметрията изисква тяхното съществуване. Експериментът ни дава някои намеци (специално от наблюдаваните стойности на константите на силното, слабото и електромагнитното взаимодействия), че природата може да е суперсиметрична. Да се определи дали това е наистина така е една от основните цели на днешната и бъдещата физика на елементарните частици. Експерименталното откриване на суперсиметрията ще бъде началото на проникването в квантовата структура на пространството и времето.

Във всеки случай още в ранния стадий на изследванията върху суперсиметрията стана ясно, че нейните особени свойства правят дуалността на Монтонън и Олив по-естествена в случая на суперсиметрия. Но доказателствата в полза на предположението на Монтонън и Олив изглеждаха все още твърде крехки, защото даже в суперсиметричния случай разбирането на полевата теория се ограничаваше със слабите взаимодействия.

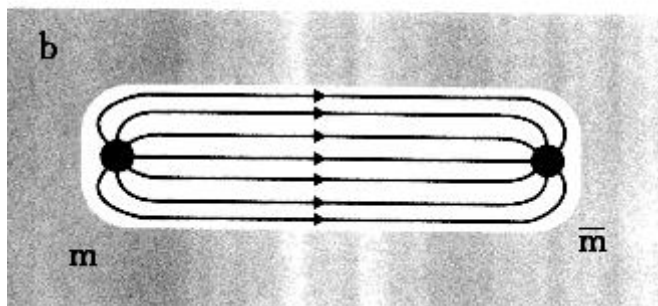
Кварков затвор

Друга важна стъпка от 1970-те години (с най-важни участници Йойчиро Намбу, Стенли Манделстам и 'т Хуфт) беше осъзнаването, че дуалността от някакъв вид между електричеството и магнетизма би могла да е от значение за разбирането на удивителното явление на кварков затвор. Според квантовата хромодинамика (КХД) силно взаимодействащите частици, например протоните, са изградени от кварки и глюони. Но изолиран кварк никога не се наблюдава експериментално. Експериментът и компютърната симулация като че ли показват, че ако се създаде двойка кварк-антикварк и те се раздалечат на разстояние r един от друг, енергията расте линейно с r благодарение на една загадъчна “не-Абелева тръба на потока”, която се образува между тях (вж. фиг. 2). Това линейно нарастване на енергията прави невъзможно кваркът и антикваркът да са раздалечат до безкрайност и да се наблюдава изолиран единичен кварк.

а



б



Фиг. 2. КВАРКОВ ЗАТВОР И ЕФЕКТ НА МАЙСНЕР. (а) Силовите линии на полето на силното взаимодействие между раздалечени кварк и антикварк образуват тънка потокова тръба във вакуума. Енергията на тръбата расте линейно с нейната дължина, което прави невъзможно изолирането на единичен кварк. (б) Аналогична потокова тръба на Абрикосов - Горков между магнитен монопол и антимонапол в свръхпроводник. Линиите на магнитното поле са затворени в тънка несвръхпроводяща тръба поради ефекта на Майснер, който представлява изтласкване на магнитния поток от обема на свръхпроводника.

Кварковият затвор в КХД е труден проблем на силните взаимодействия, но едно донякъде подобно явление в природата е значително по-добре изяснено. Ефектът на Майснер е фундаменталното наблюдение, че свръхпроводникът изгонва от себе си магнитния поток. Да предположим, че имаме възможност да изучаваме магнитни монополи и че в свръхпроводник сме вкарали двойка монопол-антимонапол, раздалечени на голямо разстояние r (фиг. 2б). Какво ще се случи? Монополът неминуемо създава магнитен поток, който обаче се изтласква вън от свръхпроводника. От енергетична гледна точка оптималното решение на тази задача е, че между монопола и антимонапола се образува тънка несвръхпроводяща тръба. Магнитният поток е затворен в тази област, която е известна като потокова тръба на Абрикосов - Горков (или потокова тръба на Нилсен - Олесен в контекста на релятивистичната теория на полето). Потоковата тръба има определена ненулева енергия на единица дължина, така че енергията, необходима за раздалечаване на монопола и антимонапола на разстояние r , расте линейно с r за големи r . (На практика ние не разполагаме с монополи, но потокови тръби в свръхпроводници могат да се създават и да се изучават - например чрез прилагане по подходящ начин на външни магнитни полета.)

Като не-Абелева калибровъчна теория КХД има полета, които приличат на обикновените електрични и магнитни полета, но се подчиняват на нелинеен вариант на Максвеловите уравнения. Кварките са частици, които носят КХД аналог на електричния заряд и са затворени във вакуума по същия начин, по който обикновените магнитни заряди биха били затворени в свръхпроводник. През 1970-те години тази аналогия доведе до идеята, че КХД вакуум се отнася към свръхпроводника така, както електричеството се отнася към магнетизма. Това е важна идея, но по онова време конкретното ѝ развитие не беше възможно.

Супергравитация

Междувременно беше започнала да се развива “супергравитацията” - обобщението на суперсиметрията, включващо и гравитацията. Супергравитацията е такова разширение на обикновената обща теория на относителността (ОТО), за което пространствено-времените координати са както фермионни, така и бозонни. Тя е разширение на ОТО с цел да включи и фермионите - точно както суперсиметрията е разширение на СТО с цел да се вземе под внимание, че съществуват фермиони.

От 1976 г. започва да се строят теории на супергравитацията и те се оказаха удивително богати. Тяхното съществуване винаги се възприема като чудо. Условиата, които трябва да се осъществят, за да се построят тези теории, са в голяма степен свръхопределени, но теориите все пак съществуват; те деликатно балансират, използвайки всички

тънкости на класическата теория на полето. Това положение вероятно не е познато на повечето читатели, защото то няма добър аналог сред физическите теории, които бяха открити преди супергравитацията.

При построяването на теориите на супергравитацията физиците непрекъснато се натъкват на любопитни симетрии - технически казано, това са некомпактни глобални симетрии, - които посредством дуалността действат върху безмасовите полета със спин 1, каквото е електромагнитното поле. Тези загадъчни симетрии усилено се изучаваха към края на 1970-те години.

Към края на 1980-те и началото на 1990-те години някои физици започнаха да вземат насериозно идеята тези дуални симетрии да се интерпретират в квантовата теория. Тъй като (подобно на случая Монтонън - Олив) квантовите дуални симетрии винаги заменят обикновените частици със солитони, тази идея доведе до задълбочено изучаване на солитонните решения на различните супергравитационни теории. Беше получено богато разнообразие от решения, описващи протяжни обекти от различни видове.

Подобни идеи обаче не можеха да се развиват твърде надалеч в контекста на супергравитацията. Последната има това общо с обикновената ОТО, че не може да работи като квантова теория, защото изискваните от Айнщайновия принцип на еквивалентността нелинейности са твърде тежки - с или без суперсиметрия. Физиците отдавна се чудят как да примирят ОТО с квантовата механика, т.е. с останалата физика.

Струнна теория

Именно този проблем се преодолява в струнната теория, в която елементарните частици се разглеждат като трептящи струни, а структурата на пространство-времето е кодирана в законите, по които струните се разпространяват.

Струнната теория прави три общи предсказания:

> ОТО.

> Суперсиметрия.

> Не-Абелева калибровъчна теория.

Често съм си мислел, че ако физиката беше развита на хиляди планети в нашата Вселена, тогава тези планети биха могли да се сортират в осем класа според това коя от трите големи идеи - ОТО, суперсиметрията или теорията на Янг - Милс - предхожда струнната теория и кои се разглеждат като следствия от нея. Оказва се, че ние живеем на планета от типа + - +. (С други думи на нашата планета ОТО и теорията на Янг - Милс предхождат струнната теория, но суперсиметрията е открита, поне частично, поради нейната роля в струнната теория.) Ако живеехме например на планета от типа - + +, разсъжденията върху връзката между струнната теория и ОТО биха имали различно звучене!

Струнната теория също така води по удивително елегантен начин до модели във физиката на елементарните частици с качествените свойства на реалния свят (каквото е

съществуването на кварки с електричен заряд $e/3$ и на V - A структура на слабите взаимодействия.) Повечето надежди за доказателство, че струнната теория описва природата, се определят евентуално от усъвършенствания извод на физиката на елементарните частици от струнната теория и свързване с експеримента - може би по следите на експерименталното откриване на суперсиметрията.

Струнната теория, ако е вярна, влече след себе си радикална промяна в нашите схващания за пространство-времето. Това е нещо, което би могло да се очаква от теория, която примирява ОТО с квантовата механика. Много от това все още не е достъпно; специалистите по струнна теория вложиха повече от усилията си през края на 1980-те и началото на 1990-те години за разрешаването на онези аспекти на проблема, които бяха достъпни за техническите методи от този период. Отново отговорът включваше дуалността.

Трептящата струна се описва от една помощна двумерна теория на полето, чийто Лагранжиан е приблизително

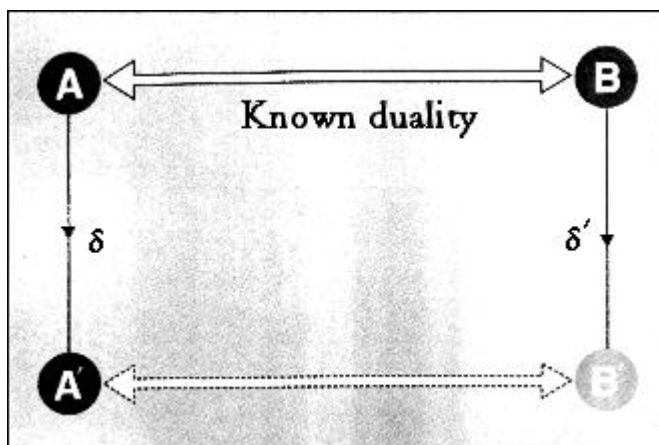
$$I = 1/2 [\dot{X}^2 + (X'/\alpha')^2].$$

Тук $X(\tau, \sigma)$ е положението на струната в момента τ в координатата σ по протежението на струната. В теорията на струните тази помощна двумерна полева теория играе по-фундаментална роля от пространство-времето, което съществува само дотолкова, доколкото може да се реконструира от двумерната полева теория.

Дуалните симетрии на двумерната полева теория налагат едно основно ограничение върху валидността на класическите понятия за пространство и време. Основната дуалност е

$$\partial X/\partial \tau \leftrightarrow \partial X/\partial \sigma$$

и тя е съвсем аналогична на познатата електромагнитна дуалност $\mathbf{E} \leftrightarrow \mathbf{B}$. Във всеки от тези случаи дуалността заменя една област с познати физични идеи с друга, в която те не са. В случая на електрично-магнитната дуалност “лесната” област е тази на слабите взаимодействия, а “трудната” - на силните взаимодействия. При дуалностите на двумерната струнна теория “лесната” област е тази на големите разстояния, а “трудната” - тази, в която някои разстояния стават много малки.



Фиг. 3. ДУАЛНОСТТА на един модел може да означава привидно несвързана загадка в друг модел: моделът А е дуален на модела В. Пертурбацията δ превръща модела А в модела А'. Дуалността би могла да изобрази δ в пертурбация δ' , която превръща модела В в модела В'. Това означава, че моделът А' е дуален на модела В'. Често се случва моделът В' да е "лесен", а моделът А' да е "труден" (или обратното), така че дуалността между тях разкрива някои от тайните на модела А'. Въпросните тайни могат най-малкото да се окажат без очевидна връзка с дуалността.

Колко струнни теории съществуват? В сравнение с обикновената теория на полето, която има безброй модели, струнната теория е относително уникална. Съществуват пет съгласувани релятивистични струнни теории: тип I, тип IIA, тип IIB, и хетеротичните суперструни $E_8 \times E_8$ и $SO(32)$. (Всяка една от тези пет теории включва десет пространствено-времеви измерения, някои от които могат да се "компактифицират", т.е. да се свият до ненаблюдаемо малки многообразия. Като следствие всяка от тези теории има различни класически решения и квантови състояния, така че ще се проявява в природата по различни начини.) В допълнение към десетмерните струнни теории има и една черна овца - единадесетмерната супергравитация. Макар да не е свързана с коя да е позната квантова теория, тя се оказва - поне за някои специалисти - прекалено интригуваща, за да бъде пренебрегвана. Усилията на последното поколение от специалисти да обяснят унификацията на природните закони с помощта на супертеориите са фокусирани главно върху тези шест теории.

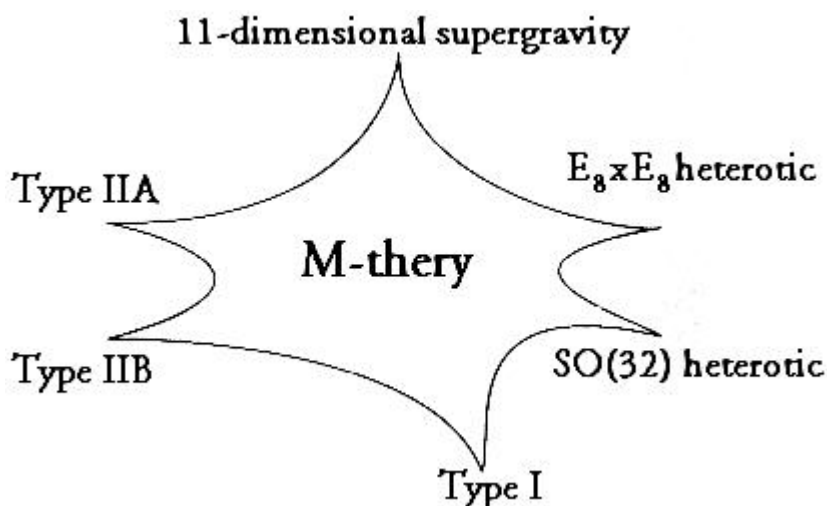
Повечето познати теории във физиката имат един или повече безразмерни параметъра, които могат да бъдат съгласувани (например константата на фината структура α в случая на квантовата електродинамика.) За разлика от тях в струнната теория, т.е. във всяка от традиционно познатите струнни теории, няма такъв безразмерен параметър. Вместо това има поле - полето ϕ на "разширението", чиято вероятна стойност определя константата на фината структура по формула, която има приблизителния вид $\alpha = e^{-\phi}$. Ако природата е доброжелателна и имаме късмет и един ден успеем да пресметнем от първи принципи вакуумната стойност на разширението, тогава ще можем да предскажем стойността на константата на фината структура. По традиция нашето разбиране за струнната теория е ограничено със ситуациите, при които ϕ е голямо и ефективната връзка е малка; обикновено това се нарича област на слабата връзка.

Динамика на калибровъчните теории

Последният съществен фактор, довел до втората суперструнна революция, беше подновеният напоследък изследване на четиримерните калибровъчни теории, концентрирано върху супрсиметричния случай.

“Асимптотичната свобода” на четиримерните калибровъчни теории позволява да се разбере какво става при високи енергии от гледна точка на слабата връзка, но заедно с това означава, че структурата на вакуума, която определя какво всъщност представляват частиците, се определя от силната връзка и поради това е извън нашите възможности.

Основен проблем за изясняване е кварковият затвор. Както беше казано по-горе, известна връзка между затвора и дуалността беше предположена през 1970-те години. Има още много загадки около вакуумната структура на калибровъчните теории. Изобщо казано, желателно е да се изясни кои симетрии се нарушават и кои частици имат малки маси в дадена четиримерна теория, каквато е КХД.



Фиг. 4. ЗАГАДЪЧНИЯТ КВАНТОВ СВЯТ НА М-ТЕОРИЯТА заедно с някои известни отпреди теории като различни класически граници (слаба връзка). Посредством мрежа от дуалности всяка от тези теории на слабата връзка може да се разглежда като граница на други за случая на безкрайно силна връзка.

Тези проблеми бяха централни във физиката на елементарните частици от средата до края на 1970-те години. Множество качествени резултати бяха получени с помощта на разнообразните методи, включващи решетъчните развития по константата на силното взаимодействие, компютърните симулации, $1/N$ разлагане и релации на съгласуване между пресмятания за близки и далечни разстояния. Постепенно компютърните симулации на КХД ставаха все по-съвършени през 1980-те и 1990-те години. Но изследването на по-общите четиримерни калибровъчни теории определено изискваше нови идеи.

Новата идея, която се появи през последните няколко години, беше тези въпроси да се изучат преди всичко в суперсиметричния случай. Суперсиметричните калибровъчни теории (например суперсиметричното разширение на КХД) представят много от явленията, които се появяват и без суперсиметрия, но последната значително опростява нещата и позволява да се решават въпроси, които иначе са недостъпни.

Изследванията в тази насока от последните няколко години дадоха много нови резултати от вид, който физиците предугаждаха през 1970-те години, но не можеха да реализират в конкретни модели. Примерите включваха странни схеми на нарушена симетрия и появата на екзотични безмасови свързани състояния. Резултатите бяха елегантни и изненадващи; те също изглеждаха разкъсани и неподдаващи се на обединяване.

Конвергенция

През последните три години стана ясно, че всичките тези неща са части от една и съща картина.

Новата калибровъчна теория би трябвало да се изведе от не-Абелевата *дуалност*, обобщаваща тази на Монтонън и Олив. Най-често тази дуалност е изводима от *струнната теория*. Някои от симетриите на *супергравитацията* водят до струнната теория, където те обобщават дуалностите, известяващи обречеността на пространство-времето като фундаментално понятие. Резултатът е съвсем нова перспектива за полевата и за струнната теория.

Относно полевата теория сега разбираме (както е скицирано на фиг. 3), че не само кварковият затвор, но и всички други изненади на полевата теория на силните взаимодействия трябва да са изводими от дуалността - поне в суперсиметричния случай.

За струнната теория промяната на гледната точка е вероятно още по-широка и обхваща откритието, че има само една теория.

За слабите взаимодействия петте струнни теории, както и черната овца - единадесетмерната супергравитация, всички са различни. Ето защо традиционно те се възприемат като различни теории. За да се схващат като различни граници на една и съща теория, е необходимо да се вникне в това, което става при силните взаимодействия.

Това, което научихме през последните няколко години, най-кратко казано е, че поведението за силни взаимодействия на суперсиметричните струнни теории и полеви теории се управлява от мрежа от дуалности, които свързват различните теории. Когато дадено описание загуби валидност поради това, че константата на взаимодействието става голяма, започва да действа друго описание.

Така например в некомпактифицирано десетмерно пространство на Минковски границата на силната връзка от типа суперструна е слабо свързаната хетеротична $SO(32)$ суперструна; границата на силната връзка от типа IIA суперструна е свързана с единадесетмерната супергравитация; границата на силната връзка на типа IIB суперструнна теория е еквивалентна на същата теория при слаба връзка; а границата на

силната връзка на $E_8 \times E_8$ хетеротична струна отново включва единадесетмерната супергравитация.

От този списък, както и от резултатите от компактифицирането на някои измерения научаваме, че различните теории в действителност са все една и съща теория. Различните супертеории, изучавани през последно време по различни начини, в действителност са различни прояви на една основна и все още мистериозна теория, наричана понякога М-теория, където М означава според различните вкусове магическа, мистериозна или мембранна. Тази теория е кандидатът за суперунификация на силите в природата. Сред възможните ѝ прояви са единадесетмерната супергравитация, както и всичките традиционно изучавани струнни теории.

Връзките между различните струнни теории при ниски енергии често наподобяват електрично-магнитната дуалност на Максвеловите уравнения. Знанията за дуалностите на струнните теории проля много светлина върху дуалностите на полевите теории, както и обратното.

За да разберем тези дуалности, ние трябваше да научим за новите степени на свобода в струнната теория, каквито са D-браните (квантови версии на обекти, които първоначално бяха открити като солитонни решения на уравненията на супергравитацията). Като илюстрация за мощта на новия възглед ще посочим, че за пръв път стана възможно - с помощта на новите променливи - да се преброят квантовите състояния на черни дупки (в някои случаи) и по такъв начин да се справим с един стар проблем.

D-браните имат едно твърде странно свойство: техните “положения” се описват, в общия случай, от некомутиращи матрици. Когато матриците комутират, техните едновременни собствени стойности са D-бранните положения в традиционния смисъл. Това навежда на мисълта, че за правилното разбиране на М-теорията пространствено-времените координати трябва да се реинтерпретират като некомутиращи матрици - горе-долу както стана с координатите на класическото фазово пространство, когато възникна квантовата механика. Тази интуитивна идея беше приложена с частичен успех в т.нар. “матричен модел” на М-теорията.

Статутът на квантовата механика

Накрая ние вероятно ще започнем да съзираме промяна в логическата роля на квантовата механика. От времето на 1920-те години квантовите системи са получавани чрез квантуване на класически системи. В известен смисъл това беше крайгълният камък на физиката в продължение на близо 70 години.

Сега, в стремежа си да обединим силите в природата, ние се занимаваме с една мистериозна квантова теория, за която познатите от по-рано теории са различни класически граници, както е показано на фиг. 4. Конкуриращите се класически граници са еднакво съществени - никоя от тях не е привилегирована.

Различните класически граници се свързват от дуалностите, които обобщават дуалността на Монтонън - Олив:

$$e \leftrightarrow 4\pi\hbar c/e.$$

Както виждаме от появата на $\hbar$ в тази формула, подобни дуалности са симетрии, които съществуват само в квантовия свят.

По такъв начин в търсенето на суперобединението квантовата механика реализира фундаментални нови симетрии - точно както това прави гравитацията в ОТО. Осъзнаването, че гравитацията прави възможен един нов принцип на симетрия - общата ковариантност или принципът на еквивалентността - промени завинаги нашето разбиране за ролята на гравитацията в картината на природата. С приближаването на 21 век расте убеждението, че подобен процес може да започва и за квантовата механика.

(Edward Witten. Duality, Spacetime and Quantum Mechanics.

Physics Today, May 1997)

Превод (с незначителни съкращения): М. Бушев

СТРАСТИ ПО ЧЕРНИТЕ ДУПКИ

Михаил Герценщайн

Въведение. Понякога сухата и не толкова разбираема теоретична физика става арена на драматични и даже трагични събития. През 1916 г. Алберт Айнщайн създава Общата теория на относителността и гравитацията, от която следва съществуването на черните дупки. А през 1939 г. той публикува статия в "Математически анали", в която доказва невъзможността за тяхното съществуване. И само няколко месеца след това се появява статията на Робърт Опънхаймър и неговия студент Снайдер, в която, пак на основата на теорията на Айнщайн е показано как могат да възникват черните дупки.

Съвременното гледище за черните дупки се основава на съвсем друг фундамент - квантово-статистичната механика. Без ефектите, предсказани именно от квантовата статистика, всеки астрономичен обект може случайно да се слее с черна дупка и светът би бил съвсем не такъв, какъвто е в действителност.

Бозе, Айнщайн и статистиката. Към създаването на квантовата статистика Айнщайн е подтикнат от писмо, което той получава през юни 1924 г. от съвсем неизвестния тогава млад индийски физик с трудно произносимото име Сатейндра Нат Бозе. Заедно с писмото Айнщайн получава и копие от научна статия, която вече е отхвърлена от едно научно списание. След запознаване със статията Айнщайн сам я превежда на немски и организира публикуването и в "Цайтшрифт фюр Физик".

Защо Айнщайн е така вдъхновен? Вниманието му е привлечено от подхода на Бозе: разглеждането на квантовите свойства на фотоните статистически. Оказва се, че по такъв начин може да се получи знаменитата формула на Планк за излъчване на абсолютно черно тяло. Айнщайн прилага метода на Бозе за газ от масивни молекули и достига до един съвсем неочакван резултат: при охлаждане такива частици кондензират в някакво състояние. Това явление днес се излага във всички университетски учебници по физика и се нарича кондензация на Бозе-Айнщайн (въпреки, че към този резултат самия Бозе няма никакво отношение). Явлението кондензация на частици със спин единица, какъвто е тази на фотоните, е установено и експериментално. При температура около два градуса по Келвин хелиев газ се превръща в течност със съвършено необикновено свойство - свръхфлуидност. Това е проява на кондензацията.

Обаче далеч не всички частици могат да кондензират, поведението им зависи от стойността на спина. През 1925 г. не по-малко известният квантов експерт Волфганг Паули осъзнава, че частици с половин спин не могат да се намират в едно и също състояние. След още една година Енрико Ферми и Пол Дирак разработват статистика за този клас частици - с полуцел спин, която сега се нарича статистика на Ферми-Дирак. При съгъстяване на такива частици, например електрони, възникват мощни сили на отблъскване, като при това тази сила не зависи от електричния товар: електрично неутралните неутрони се отблъскват със същата сила.

Квантовата статистика и белите джуджета. Но какво отношение има квантовата статистика към черните дупки? В началото на века астрономите откриха много малките и много плътни звезди - белите джуджета. Една от тях е разположена недалеч от Сириус. И свети четири пъти по-слабо от Слънцето. Ако се определи нейната маса, се

оказва, че нейното вещество е шейсет хиляди пъти по-плътно от водата. Какво ли представлява това странно образувание?

На този въпрос се опитва да отговори през 1924 г. сър Артър Едингтън. Той е известен на всички астрономи с това, че ръководената от него експедиция в началото на века потвърждава предсказанието на Общата теория на относителността на Айнщайн за отклонението на светлинния лъч в гравитационно поле. Но той е направил в астрономията и много други забележителни открития, в частност, предположението, че гравитационните сили в белите джуджета притискат електроните от техните атомни орбити към ядрата. И този процес на гравитационно свиване се спира от отблъскването между електроните поради принципа на Паули.

През 1930 г. деветнайсетгодишният индийски студент Субраманиян Чандрасекар решава да провери това числено. Честно казано, той се заема с това от скука по време на корабно пътешествие от Мадрас за Саутхемтън, четейки книгата на Едингтън. Отговорът, до който достига, предизвиква малка революция: оказва се, че само за звезди с маса един-два пъти по големи от масата на Слънцето отблъскването удържа гравитационното притегляне, всички по-тежки тела трябва да продължават свиването си и по-нататък. Такова катастрофално свиване се нарича колапс.

Резултатът на Чандрасекар силно обезпокоява Едингтън, той го смята за нефизичен, защото безкрайното свиване е невъзможно, и започва да осмива получения резултат и автора. Чандрасекар е силно огорчен и само поддръжката на такива експерти като Нилс Бор и други му позволява да игнорира неконструктивната критика.

Още една сензация: сингулярности. Едни изследователи се захващат с разработването на проблемите на квантовата гравитация, а други се заемат задълбочено да изучават статията на Айнщайн за гравитацията. Уравненията на Айнщайн, описващи полето около веществото, са много сложни.

Обаче такива явления като изкривяване на светлинния лъч могат да бъдат описани и с някакво приближение. Каквото и прави през 1916 г. немският астроном Карл Шварцшилд. Той намира едно приближение за достатъчно реален случай - планета, въртяща се около звезда. В процеса на решаване на задачата Шварцшилд забелязва нещо необикновено: при някаква стойност на разстоянието от звездата до планетата уравненията "полудяват" - времето изчезва, а пространството става безкрайно! А за случай, когато става нещо такова необикновено, математиците са измислили специален термин - сингулярно решение. Радиусът на Шварцшилд е много пъти по-малък от радиуса на обикновените небесни тела; например за Слънцето той е равен на три километра.

Естествено Шварцшилд е разбирал, че неговите формули нямат смисъл при такава стойност на радиуса, но той просто решава да не обръща особено внимание на тази малка неприятност. Неговата задача е била само да построи опростен модел на звездата. Той отбелязва, че за свиване на звездата до прословутия радиус ще бъде необходим безкрайно увеличение на налягането, и следователно, този резултат не представлява практически интерес.

Но не всички са така безгрижни. Айнщайн е сериозно обезпокоен от откритието на немския астроном, защото полученото решение не удовлетворява някой технически

изисквания на теорията на относителността. Направени са някои неголеми видоизменения и като че ли неприятностите са преодолені, но Айнщайн продължава да мисли върху проблема. През 1939 г. той се връща към него в дискусия с космолога от Принстън Харолд Робъртсън с единствената цел - да премахне сингулярностите на Шварцшилд. "Най-същественият резултат от нашето обсъждане е разбирането, че сингулярностите на Шварцшилд не съществуват като физическа реалност"- казва той. Казано по-просто: черни дупки не съществуват!

Своя извод Айнщайн доказва, анализирайки система от неголеми частици, движещи се по кръгова орбита. Такава система не може да се свие до радиус на Шварцшилд, понеже за това частиците трябва да се движат със скорости по-голяма от тази на светлината. В случая, любопитното е, че всички пресмятания Айнщайн прави с логаритмична линейка.

Доводите на великия физик са верни, но се оказва, че нестабилният радиус на Шварцшилдова колапсираща звезда може бързо да я прескочи и нестабилността няма последствия.

От неутроните към черните дупки. Буквално в същите дни Робърт Опънхаймър със своя студент създава съвременната теория на черните дупки. Забавното е, че те изхождат от невярна идея. През 1932 г. английският физик-експериментатор Чадуик открива неутрона като съставна част от атомното ядро. Скоро след това Фриц Цвики, от Калифорнийския технологичен институт, и независимо от него - Лев Ландау, предполагат че от неутрони могат да възникнат цели звезди. По тяхната аргументация, при достатъчно големи гравитационни налягания електроните се сливат с протоните, в резултат на което се получават неутрони. Цвики даже се досеща че тези "свръхналягания" могат да възникват при взрив на свръхнови звезди. Днес такива звезди са известни и се наричат пулсари. но през онези години още не е бил ясен механизмът на генерация на енергия на звездите, затова една от хипотезите помества неутронна звезда в центъра на всяка обикновена звезда (В наши дни, по абсолютно сходни съображения, астрофизиците предполагат, че във всеки квазар стои черна дупка, генерираща енергия). Истинският енергетичен източник на звездите - термоядрените реакции на сливане - беше открит от Ханс Бете и Карл фон Вайцекер именно през същата тази 1938 г.

Опънхаймър решава да разбере: какъв ще бъде масовият аналог на границата на Чандрасекар за звезда от такъв тип? Да се намери отговорът на този въпрос е значително по-сложно, отколкото за белите джуджета: при тях работят само силите на гравитация, които свиват веществото, а "принципът на Паули" ги "раздалечава". Неутроните обаче взаимодействат помежду си, но тънкостите на това взаимодействие тогава съвсем не са били ясни и е било свършено невъзможно да се направят каквито и да е било числени оценки. Въпреки това Опънхаймър, с присъщия си блясък успява да ги проведе и достига до извода, че масовата граница на неутронните звезди е сравнима с границата на Чандрасекар за белите джуджета.

Той искал да обсъди въпроса с Едингтън и, знаейки неговото отрицателно отношение към колапса, решил да изучи процеса досконално, и поръчал на своя студент Снайдер да разработи проблема за колапса на звездата. Ясно е, че студент може да реши не много сложна задача и затова Опънхаймър опростил проблема с всичко, което е възможно. В резултат на това Снайдер успява да се справи със задачата с помощта на

проста логаритмична линийка, но достигнал до необикновен резултат: оказва се, че колапсът на звездата драматично зависи от това, от къде гледаш на него.

Два възгледа за колапса. Да започнем от наблюдател в покой на безопасно разстояние от звездата. Дапомним, че има още един, с по-малък късмет, който стои на повърхността на колапсиращата звезда и праща сигнали на свой по-отдалечен колега. Честотата на неговите сигнали ще намалява през цялото време и неподвижният наблюдател ще стигне до извода, че часовникът на повърхността на колапсиращата звезда забавя своя ход. При достигане на радиуса на Шварцшилд този часовник напосоки спира. Неподвижният наблюдател ще бъде принуден да направи извода, че там вече нищо не става, или че звездата колапсира за безкрайно време. Какво ще бъде "след това" никой не знае, защото какво е "след това" след безкрайност? Всички процеси на звездата като че ли замръзват при неговото приближаване към границата на Шварцшилд.

До 1967 г., когато известният физик Джон Уилър измисля сполучливия термин "черни дупки", за такива обекти в литературата се говори като за замръзнали звезди. Това замръзнало състояние е и истинското съдържание на сингулярността в геометрията на Шварцшилд. Както отбелязват в статията си Снайдер и Опънхаймър, "колапсиращата звезда се стреми да прекрати всички канали за общуване с отдалечения наблюдател, действайки само чрез гравитационното си поле". С други думи - възниква "черна дупка".

Но какво става с нашия втори наблюдател? Да не забравяме, че това е само наш мислен експеримент; да не дава Бог и в кошмарен сън да усетим какво става в гравитационния ад! За наблюдателя върху колапсиращата звезда радиусът на Шварцшилд не представлява нещо специално отделено, той преминава през него и продължава нататък за определено по неговия часовник време. Единственото, за което трябва да внимава, са колосалните приливни гравитационни сили, които отдавна би трябвало да го разкъсат на малки парчета.

Всичко това е писано през 1939 г., когато светът наистина беше близко да бъде разкъсан на малки парчета от Втората световна война. Скоро Опънхаймър възглавява работите по създаването на атомната бомба и никога вече не се завръща към тематиката на черните дупки, както и Айнщайн. През 1947 г. Опънхаймър е назначен за директор на Института за перспективни изследвания в Принстън, където Айнщайн е на щат професор. От време на време те се срещат и общуват, но записи от техните беседи не са запазени. Изглежда колапсиращите звезди и черните дупки са забравени и за тях се сещат едва през шейсетте години, когато се появяват такива екзотични небесни обекти като квазари, пулсари и компактни източници на гама-лъчи. Именно за да обезпечат колосалното енергоотделяне, при тях са нужни безумните гравитационни полета на черните дупки и колапсиращи звезди. И астрономите започват да ги търсят.

Небесните трептения. Квазарите бяха открити през 1963 г. и веднага стана ясно, че с времето те си менят яркостта. За някои от тях периодът на това изменение е доста кратък - месеци или даже часове. Голяма част от астрономите са на мнение, че такива краткoperиодични флукутации са свързани с падането на звезда в черна дупка, когато за кратко време се отделя невъобразимо голямо количество енергия. Но има и квазари, изменящи яркостта си с период пет-десет години. "За трийсет години наблюдения ние

събрахме огромно количество данни за тях, но за съжаление все още не разбираме докрай какво представляват" - казва Богдан Пачински от Принстън.

Съвсем неотдавна Майкъл Хоукинс от Кралската обсерватория в Единбург изказва хипотеза, че тези трептения се причиняват от черни дупки. И ако по-рано мислехме, че масата на черните дупки превишава многократно масата на Слънцето, то според идеята на Хоукинс съществуват и съвсем мънички "дупчици", с диаметър от порядъка на метри. Те са се родили в първите мигове на Големия взрив, когато най-близката до нас, всъщност не е толкова далече от нас.

Хоукинс се заинтересувал от квазарите съвсем случайно. През 1975 г. той изучавал неголям участък от четири-пет градуса от небесната сфера в три диапазона на дължините на вълните. Целта му е била систематичното изучаване на променливите звезди. Още през 1980 г. Хоукинс разбира, че звездите съвсем не са единствените променливи обекти, като при това има такива с много дълги периоди на вариации. "Забелязах ясни емисионни линии - безгрешно свидетелство, че това са квазари" - разказва той. Заинтересуван, Хоукинс оперативно изменя плана на изследванията си и започва да наблюдава квазарите. След няколко години той успява да изучи почти всички от близо хиляда и петстотинте известни квазари на "неговия" участък от небесната сфера.

Квазарите са най-ярките обекти във Вселената. Те са по-ярки от стотици галактики, но излъчват енергия от неголяма област, съпоставима по размери с нашата Слънчева система. Хоукинс установил, че всеки, намерен от него квазар, изменя яркостта си за няколко години по синусоидален закон. Големината на изменението е от трийсет до сто процента. Но главната странност е, че измененията са предизвикани не от процеси в самия квазар, а се дължат на изменения на светлината по пътя ѝ към земния наблюдател. Това може да се докаже от факта, че измененията в самите квазари трябва са по-дълги за отдалечените обекти, понеже Вселената се разширява, предизвиквайки забавяне на времето за отдалечените части. Хоукинс обаче не установява такава зависимост.

Гравитационните лещи започват да работят. Вторият намек за това че измененията стават по пътя към Земята Хоукинс намира при анализа на цвета на квазарите. Обикновено намаляването на яркостта се съпровожда с изменение на цвета: колкото е по-горещо и по-ярко, толкова е по-синьо. Но и това не се наблюдава!

Хоукинс предполага, че причина за трептенията могат да бъдат неголеми масивни обекти, действащи като гравитационна леща по пътя на лъчите. Идеята за лещата обяснява и това че цветът не се мени и че няма зависимост от разстоянието. Ако лещата е близко до Земята, то тя ще преминава бързо пред квазара и периодът на трептене няма да бъде голям. Анализирайки разстоянието до променливите квазари и периода на трептене, Хоукинс стига до извода, че масата на лещата трябва да бъде сравнима с масата на големи планети.

Хипотезата на Хоукинс хвърля цялата астрономична общност в недоумение и съмнения: ако практически пред всеки квазар се намира обект-леща, то Вселената трябва просто да бъде наводнена от тях. Тези невидими обекти могат да съставляват голямата част от нейната маса! Оценките говорят, че масата на всички подобни лещи може няколко пъти да превишава масата на видимата част на Вселената!

Ако хипотезата се потвърди, това ще представлява истинска революция в астрономията и космологията. Всички тези черни "дупчици" с лихва ще осигурят масата на Вселената, необходима за спиране на нейното разширение и началото на свиване. По такъв начин те решават един от най-острите проблеми на последните години - т.нар.тъмно вещество, или скрита маса. Същността на проблема е че голяма част от масата на Вселената е съставена от тъмно несвещещо вещество, което се проявява само по гравитационните въздействия. "Голямата част от тъмното вещество се съдържа в обекти с маса от порядъка на масата на Юпитер. Най-близкият до нас такъв обект може би е отдалечен само на трийсет светлинни години от Земята" - предполага Хоукинс.

Но на какво могат да приличат те? Тъмното вещество не може да бъде обикновено вещество от протони и неутрони, понеже цялата материя от този вид е събрана в звездите, газовите облаци и галактиките, и астрономите я виждат. Количеството такава материя се пресмята по относителното количество леки елементи във Вселената.

Мистичното вещество. Щом като това не е обикновено вещество, какво е то? ... Хоукинс смята, че има само едно реалистично обяснение: черните дупки са образувани в зората на раждането на Вселената. Идеята звучи доста неочаквано, понеже терминът "черни дупки" традиционно се свързва с гравитационния колапс на тежки звезди. За обект с маса на Юпитер такъв процес е невъзможен.

Обаче в първите моменти след Големия взрив са били създадени такива условия, че даже неголяма звезда би могла да се свие в черна "дупчица". Още през 1980 г. Дейвид Шрам и Мат Кроуфорд от Чикагския университет оценяват, че такива адски условия биха могли да възникнат след няколко милионни части от секундата след взрива. По това време Вселената представлява гореща "супа" от свободни кварки. Миг след това силното взаимодействие започва да събира кварките в протони и неутрони. При такъв преход плътността в някои участъци на първичната "супа" може да стане толкова голяма, че да е напълно достатъчна за спонтанно възникване на черни дупки. Пресмятанията потвърждават тези предположения.

Първоначално революционната идея на Хоукинс предизвиква силни протести. Мартин Ривс от Кембридж посочва, че вероятността да се натъкнат на подобна леща за най-близките квазари е много малка, а и при тях има трептения на яркостта. Хоукинс е съгласен с това възражение, но от своя страна за такива квазари трептенията са с много малки периоди и те биха могли да бъдат предизвикани от процеси в самите тях. Следващото възражение се отнася до това как става процесът на изменение на яркостта. В случай на леща яркостта трябва да нараства и спада симетрично, а сред квазарите, наблюдавани от Хоукинс, такава симетрия не се очертава. Тогава той предполага, че се наслаждат ефекти на действие на няколко лещи, и чрез сложен математичен анализ потвърждава тази хипотеза: за всеки квазар той успява да отдели няколко симетрични криви. Но астрономите не са приучени към сложна математика и те биха искали да наблюдават ясен и симетричен сигнал от една леща.

Време за проверки. Освен това Питер Шнайдер от Института Макс Планк измисли и друго обяснение за ефекта на независимост на цвета от отдалечаването на квазара. Светлината от далечните квазари е изместена към червената област на спектъра - нали Вселената се разширява, и те се отдалечават от нас с голяма скорост. Работи добре познатият ефект на Доплер: ако отдалечаващият се от нас обект излъчва, то лъчението достига до нас с по-ниска честота (т.е. с по-голяма дължина на вълната). Така се

понижава тонът на сирената на колата на "Бърза помощ", когато тя профучава покрай нас. Значи квазарите изпускат вълни с по-къси дължини, отколкото ние ги виждаме, а още по-късите вълни се излъчват от още по-горещи и компактни участъци, съсредоточени в центровете на квазарите. Те могат да изменят своята яркост по-бързо, отколкото квазарът като цяло. "Хоукинс вижда в далечните квазари трептението на яркостта не на целия квазар, а на неголяма част от него, и затова те са толкова бързи; това компенсира очаквания ефект на увеличаване на периода на трептенето с отдалечаване на квазара", смята Шнайдер.

Обаче, независимо от всички възражения, идеята на Хоукинс се счита за много интересна, и са необходими по-нататъшни проверки. Особено интересно е да се изследват онези квазари, редом с които има галактики, защото със своята маса те могат да действат като добавъчни гравитационни лещи и да направят ефекта на Хоукинс по-ясен и по-нагледен.

Хоукинс е пълен с планове и надежди: "Ще продължа и разширя своите наблюдения. В края на краищата аз следя за квазарите само от двайсет години, и тяхната светимост е успяла да нарасне и спадне само два пъти. Разбираемо е, че това не е съвсем убедителен материал". "Колосално преимущество на идеята на Хоукинс е възможността за нейната експериментална проверка", смята Енди Тейлър, колега на Хоукинс в Единбург. С това е съгласен и Шрам.

А на нас ни остава да чакаме. Може би началото на следващия век ще ни подари такъв поврат в представата, какъвто се случи и през изминалото столетие.

"Страсти по черным дырам", *Знание-сила*, август 1999 г. Превод: Н. Ахабабян

НИСКОИНТЕНЗИВНИ ЛЪЧЕНИЯ

НЕЙОНИЗИРАЩИ

М. Израел*, П. Чобанов**

* Национален център по хигиена, медицинска екология и хранене, София

** Централна военна хигиенно епидемиологична инспекция, ВМА, София

Бихме искали да започнем с думите на уважавания от всички нас Иван Узунов, който за съжаление “стана жертва на 20-годишния латентен период за възникване на рак” (по неговите думи: “Крайно време е да се спрат флуорографските профилактични облъчвания. Всяка доза, дори и най-малката, води до заболяване, статистически определено за голяма част от населението, с латентен период от 20 години”).

Въпреки че тук няма да говорим за йонизиращите лъчения и електромагнитните кванти с по-ниска енергия не са толкова биологически агресивни, това твърдение все повече започва да важи и за нискоенергетичните нейонизиращи лъчения. Тук не трябва да забравяме също, че всички взаимодействия в природата в основата си имат електромагнитна природа (същност), което още повече доказва значението на дори най-слабите електромагнитни въздействия върху човека.

В култа към “електромагнетизма” в някои случаи се достига до сериозни парадокси.

Например, в хомеопатията съществува “хипотеза за промяна на фазата”: “Хомеопатичното лекарство действа, като предоставя на организма специфична електромагнитна вълнова честота / поле” [1].

Друга хипотеза, изградена на данните от електрофизиологията, казва, че “организмът има специфична електромагнитна вълнова честота / поле, която съответства на състоянието на здраве в даден момент”.

Ето още един пример от хомеопатията: “Според вълновата теория (Принципа на суперпозицията) резултантната електромагнитна вълнова честота / поле е представена чрез непрекъснатата линия и това е резултантното обостряне и последващото състояние на здраве при прилагане на точното хомеопатично лекарство. То осигурява необходимото електромагнитно вълново поле или информация. Когато внасяме точното хомеопатично лекарство, предизвикваме промяна във фазата на организма. Тази промяна във фазата се обяснява от теорията на Фрьолих за кохерентната възбуда и хистерезиса, от закона на Ом за електричеството, константата на Айнщайн и закона на Фик за дифузията.”

Сериозни неточности, нали? Дори “неточности” е много слабо казано.

Защо хомеопатията? Защото точно това е пример за нискоинтензивно въздействие, за което има доказателства за отчетлив ефект при “Безкрайно разреждане” (dilution) на веществото, което предизвиква съответното заболяване.

Възможни ли са биологични ефекти, възникващи от въздействие със слаби електромагнитни полета (ЕМП)?

Един отговор на този въпрос дава Robert Adair [2] от Yale University, Department of Physics.

Слабите свръхнискофреотни (СНЧ) полета се маскират от шума в биологичната тъкан (Johnson noise). Единственият начин тогава, по който тези полета могат да въздействат, е чрез резонанси в тесни честотни ленти $\Delta \nu$.

Възможните резонанси на клетъчно ниво са свързани с термодинамични изисквания - средната резонансна енергия да бъде не по-малка от:

$$k \cdot T = \frac{1}{40} eV = 4,3 \cdot 10^{-21} J$$

В случай, че подобни резонанси са в тясна честотна ивица $\Delta \nu \approx 1 \text{ Hz}$, те могат да се реализират за времена $\delta t \approx 1/\delta \nu \approx 1,56 \text{ s}$, което е много по-продължителен период от времената, характеризиращи взаимодействията в кондензираната материя $\approx 10^{-11} \text{ s}$. За пример, една от времеконстантите в биохронологията на организма се приема 75 ms . Robert Adair предлага различни езотерични механизми (на хаоса, солитонов ефект, колективни ефекти на Bose - Einstein). Ето някои механизми:

1. Циклотронен резонанс

Отнася се за частица с маса m със заряд q в магнитно поле и се дефинира за следната кръгова честота:

$$\omega = \frac{q \cdot B}{m},$$

която е независима от радиуса на орбитата или от енергията на йона. За единичен йон Ca^{2+} , магнитна индукция от $42 \mu \text{ T}$ дава честота $\nu(\omega) = 16 \text{ Hz}$.

Като пример ще спомена, че измервания при електропроводи показват, че при тази хармонична се достига до $B \approx 50 \mu \text{ T}$.

2. Механичен резонанс

Свързан е с границите на клетката и топлинния шум. Характеристичната честота е:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}},$$

където честотата ν и амплитудата A характеризират нискофреотната вибрация на клетката, M е характеристичната маса, а k е константата на еластичност:

$$\frac{1}{2} M \cdot V_{\max}^2 = \frac{1}{2} k A^2 \geq kT$$

$$V_{\max} = \omega \cdot A$$

3. Електрически резонанс

Това е резонанс, при който енергията се трансформира циклично от енергия на магнитното поле в енергия на електрическото.

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi}, \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

4. Електромеханични резонанси

Възможни са при 60 Hz, където потенциалната енергия $\geq kT$ се зарежда капацитивно в електрически полета с кинетична енергия $> kT$, водеща до движение на клетъчни елементи.

5. Ядрено-магнитен резонанс

Взаимодействието на магнитното поле (на Земята) с магнитния момент μ на ядрата (с ненулев спин) - води до прецесия на ядрата по силовите линии на полето.

$$\nu = \frac{B \cdot \mu}{\pi}$$

Честотата на прецесия е ≈ 2000 Hz; времето за релаксация $\tau \geq 30$ s; $B\mu / kT \approx 10^{-10}$; енергията за прецесия е $< 10^{-7} kT$.

Този механизъм е много малко вероятен.

6. Хаос, солитони и други (Bose - Einstein съображения, фазови преходи, свръхпроводимост при стайна температура).

- *Хаос* - физиологията на клетките, органите, организма се вмести в теорията на хаоса. Хаотичните системи са много чувствителни.
- *Солитони* - на основата на нелинейните характеристики на ендоклетъчните и екзоклетъчните мембрани.
- *Bose - Einstein разглеждания* - колективните следствия от ефектите на взаимодействие с големи домени, като клетъчните мембрани; флукуациите на електрическото поле се редуцират поради процес на усредняване.

Въздействията върху големи домени ще водят до енергии, над kT , които могат да имат съответния биологичен ефект.

- *Прозорци (window effects)* - например Ca

²⁺ Efflux (освобождаване през каналите на мембраните на клетките).

Действат на принципа “да/не”. Резонансната честота за Ca²⁺ Efflux е $\nu = 6; 16 \text{ Hz}$ (при 5 V/m).

Какви са стойностите на електрическото поле, индуцирано от външно ЕМП? При интензитет $E = 1 \div 100 \text{ V/m}$ външно поле, в тъканта се индуцира електрическо поле, $10^{-7} \div 10^{-8}$ от външното поле, т.е. $E_{\text{вътр.}} = 10^{-6} \div 10^{-8} \text{ V/m}$. Върху мембраната на клетката, обаче, интензитетът на полето е 10^5 пъти по-висок от този в биологичната тъкан, т.е. $E_{\text{мембр.}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \div 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ V/m}$.

Как взаимодейства най-общо външното ЕМП с организма?

При ниски честоти индуцираното електрическо поле в организма силно зависи от формата на обекта, както е при електростатичното поле. Биологичен ефект имат и токовете на късо, които преминават през човека при допир до заземени метални повърхности.

Магнитното поле действа главно чрез индуциране на кръгови токове (по закона на Фарадей) в тъканите. Друг механизъм се съдържа в действието на Лоренцовата сила върху движещи се заряди в тялото. Трети основен механизъм се свързва с взаимодействието на магнитното поле с йоните в екстрацелуларната течност. При това магнитното поле може да разруши фиксираната “електромагнитна” атмосфера в течността.

Всички тези ефекти могат да доведат до сериозни биологични ефекти в организма.

Като пример може да се даде резонансното изменение на активността на Na⁺, K⁺, АТ-фаза в липозоми при $E = 0 \div 4 \text{ V/m}$ и $f = 100 \text{ Hz}$ (максимум при $E = 1 \text{ V/m}$).

Друг пример е за магнитното поле с индукция $B = 0,042 \div 0,60 \text{ mT}$, което води до намаляване на скоростта на пролиферация на фибропласти на зайци с 5-10 %, а при $B > 0,60 \text{ mT}$, тя нараства с 20 %.

Националното бюро по радиационна защита в САЩ (NCRP) [3] говори, че индуциран ток в мозъчната тъкан с плътност $j = 0,1 \text{ pA/cm}^2$ не трябва да има биологична реакция, поради това, че тази стойност е под ендогенните екстрацелуларни стойности. Йоните Ca²⁺, обаче, опровергават това - тяхното освобождаване от клетките се изменя още при тази стойност на индуцирания ток, предизвикан от външно поле с изключително нисък интензитет $E = 3 \text{ V/m}$ (при $f = 16 \text{ Hz}$ - “прозоречен ефект”).

Подобни данни (доказателства) за нискоинтензивни въздействия могат да се открият в много публикации през последните години. Ето някои примери:

- Б. Стефанов [4] говори за сензорна реакция при човека от въздействие с магнитно поле с $B = 30 \pm 9 \text{ mT}$ и честота $f = 50 \text{ Hz}$. Ефектът е “мравучкане, боцкане, затопляне”;

- Leoscher W. и др. [5] установява, че при облъчване на животни с честота 50 Hz, $B = 100 \mu T$, 24 часа на ден, 7 дни в седмицата, 91 дни, туморите в гърдите на облъчените животни растат по-бързо от нормалния туморен процес;

- Никитина В. [6] в своята докторска работа доказва кумулация на ефекта от въздействие на нискоинтензивни ЕМП от радиочестотния обхват. Облъчването е с експозиционна стойност $E.t = 625 (V/m).min$, при облъчване 5 s, пауза 10 s, при ежедневна експозиция 30 min, 20 дни. Функциите на организма се пренастройват на 5 - 7 ден;

- Чехун В.Ф. и др. [7] описва някои резонансни ефекти при нискоинтензивно въздействие на магнитно поле с честота 50 Hz:

- открива различна биологична чувствителност при различни обекти;
- установява промени в ЕЕГ при

$$B \approx 1 \text{ nT};$$

- импулсна активност на неврони при

$$B = 0,1 \mu T;$$

- ускоряване пролиферацията на бактерии при

$$B = 1 \text{ nT};$$

- влияние върху пролиферацията на митоген - активирани лимфоцити - при

$$B = 2,0 \text{ mT и } f = 75 \text{ Hz; } B = 0,2 \div 5 \text{ mT при } f = 50 - 60 \text{ Hz.}$$

В настоящия момент за оценка на нискоинтензивните ефекти се работи в много страни, под егидата на Световната здравна организация.

След като толкова ниски стойности на ЕМП могат да доведат до сериозни биологични ефекти, къде са праговете на това въздействие? Има ли такива прагове или отново трябва да заговорим за “безпрагов биологичен ефект”? Достатъчни са данните от последните 10 години от епидемиологични проучвания, които говорят за 3 - 8 пъти по-честите заболявания от някои специфични видове рак при работещите в т.нар. “електрически” професии, и при деца, живеещи в жилища с магнитно поле с индукция $B > 3 \text{ mG}$. [8] И това е при праг за населението в Европа 5 -10 G (повече от 1000 пъти!).

Или хигиенните норми не са свършени, или учените още не са установили достатъчно твърдо механизмите на вредния ефект на ЕМП при хронично нискоинтензивно въздействие. Достатъчно е да споменем, че все още в света няма международни норми за ЕМП, различните школи спорят по критериите за оценка на вредния ефект на ЕМП, по коефициентите на биологичен запас и т.н.

Нека тук да оставим отворен въпроса за нискоинтензивните въздействия на ЕМ лъчения и да дадем още възможности за спорове и дискусии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Делиник, Ал. - Хомеопатия. Научно доказани факти и възможности, Сборник статии, изд. Асоциация на лекарите - хомеопати в България, 1999 г.
2. Adair, R. - Are Biological Effects of Weak EMF Fields Possible? Department of Physics, Yale University, Report 1990.
3. Nonionizing Electromagnetic Radiations and Ultrasound, Proceedings No.8, NCRP, April 1986.
4. Стефанов, Б. - Електромагнитни и магнитни полета. Хигиенни аспекти, изд. "Мед. и физк.", 1994.
5. Leoscher W., M. Movissen, W. Lehmacher and A. Stamm - Tumor Promotion in a Breast Cancer Model by Exposure to a weak Alternating Magnetic Field, Elsevier Scientific Publishers Ireland Ltd., Vol.71, 1993.
6. Никитина В.Г. - Отдаленные последствия электромагнитных полей радиочастотного диапазона, Материалы Межд. Совещания "Электромагнитные поля, биол. действия и гигиенич. нормирование", Москва, 18-22 мая 1998 г., стр.363.
7. Чехун В.Ф., Ю.К. Сидорук, Р.И. Булькевич - Влияние электромагнитных полей крайне низких частот на биологические объекты, Радиоэлектроника, том 39, 7-8, 1996, стр. 13-25.
8. Tornqvist, S., B. Knave, A. Ahlbom, T. Persson - Incidence of Leukemia and Brain Tumors on Some "Electrical Occupations", British Journal of Industrial Medicine, 1991; 48, p. 597.

БОРБАТА НА МИЛИКАН С ТЕОРИЯТА

Джералд Холтън,

Джеферсънова физическа лаборатория, Харвардски университет, Кеймбридж

През 1916 г. Миликан публикува своето експериментално определение на стойността на константата на Планк със забележителна точност. По-късно то е цитирано като част от обосновката на присъдената му Нобелова награда. Но, както разкрива едно изследване на онази статия, заедно с правените от него през годините коментари, първоначално той отказвал да приеме интерпретацията на теоретичния смисъл на своята работа, както го вижда един съвременен физик. Освен това с времето Миликан настройва своето виждане с обратна сила, за да възприеме смисъла на онова, което е направил – а именно, да осигури решаваща поддръжка на Айнщайновата евристична гледна точка към квантовата теория на светлината (1905 г.). Този случай изпълнява ролята и на тест за това дали един учен, както сега често се приема, по правило не нагласява така своите опити, че резултатите от тях да съответстват на собствените им убеждения.

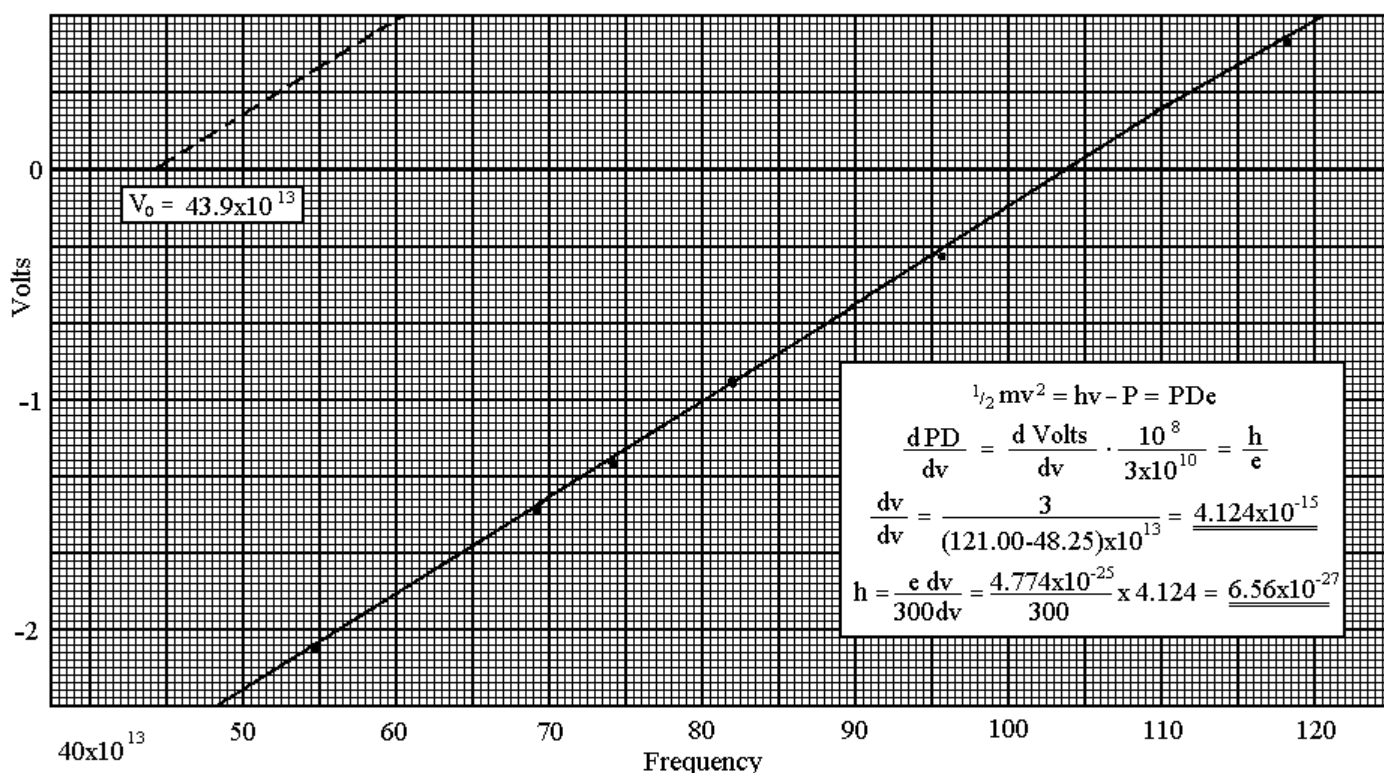
Историческата статия на Робърт А. Миликан от 1916 г. във *Physical Review* върху измерването на константата на Планк (“Пряко фотоелектрично определяне на Планковата h ” [1]) може да бъде четена по два различни, даже допълващи се, начина – първо, през погледа на един съвременен физик, и второ, от историк на науката, възстановяващ драматичния смисъл, който е имала статията на времето си.

За един физик статията на Миликан е подробно и красноречиво есе за това как е стигнал той до заключението, което присъства в нашите учебници оттогава и досега: Докато в продължение на много време беше известно, че падаща върху метални повърхности светлина може да изхвърля електрони от тях (фотоелектричният ефект), Миликан е първият, определил с голяма точност, че максималната кинетична енергия на изхвърлените електрони се подчинява на уравнение, което е еквивалентно на предложеното от Айнщайн през 1905 г., а именно: $1/2mv^2 = h\nu - P$, където h е константата на Планк, ν е честотата на падащата светлина и P е, по думите на Миликан, “работата, необходима на електроните, за да напуснат метала”. Нещо повече, Миликан определи, че стойността на h е $6,57 \cdot 10^{-27}$ erg.s, “с точност от около 0,5 %” – стойност, която е много по-точна от получените дотогава от експериментаторите.

За успеха на експеримента, проведен в лабораторията Райерсън (Ryerson) на Чикагския университет, от значения бяха няколко фактора. Преди всичко Миликан използва едно добре направено устройство, което той нарича “автоматична работилница във вакуум” (“a machine shop in vacuo”), конструирано благодарение на “умението и опита на механика мистър Джулиъс Пиърсън”. По същество устройството дава възможност на един въртящ се остър нож, управляван електромагнитно от извън евакуирания стъклен съд, да почиства повърхността на използвания метал (натрий, калий, литий), преди да бъде облъчен със силно монохроматична светлина от кварцова живачна лампа. Второ, честотите на използваната от Миликан светлина покриват много по-широк от

постигания дотогава диапазон, между 239,9 nm и 546,1 nm, , позволяващ съотношението между кинетичната енергия на електрона и честотата на светлината да бъде определено с “максимална неопределеност” от 0,5 %. Освен това кинетичната енергия на фотоелектроните е определена чрез измерване на потенциалната енергия V_e на електричното поле, необходимо за спиране на електроните – а тук Миликан е в идеалната позиция да може с увереност да използва стойността за заряда на електрона, която той публикува през 1913 г. с несравнима точност, получена при неговия експеримент с маслени капки.

Последен по ред, но не и по значение, фактор, пропил целия експеримент, са типичните за Миликан характеристики на експериментатор и личност: Неговата увлечение да експериментира в една област, която включва най-злободневния проблем – в този случай стойността на една фундаментална природна константа (както беше направил и в статията си от 1913 г.) и, както бихме казали сега, квантовата теория на светлината; неговата енергична настойчивост – тази статия беше кулминацията на една работа, започната от него през 1905 г.; страстта му да получава резултати “с много висока точност” (вж. фиг.) – дори с цената на някои методи, които са може би съмнителни от днешна гледна точка, като например неговия искрен коментар, че за да накара получените по експерименталните му резултати криви да пресичат там където трябва координатните оси, той решил “просто да отреже краищата им”, когато те се отклонявали твърде много.



Графиката е взета от стр. 373 на статията от 1916 г. на Миликан [1]. Това е ключовата фигура в публикацията. От нея се вижда как той пресмята h по наклона на правата, трасираща зависимостта на наблюдаваните спиращи потенциали от светлинните честоти. Както и при друга подобна възлова графика в статията му от 1913 г. върху определянето на стойността на e , и тук може да се забележи колко малки са отклоненията на експерименталните резултати от правата линия – и колко небрежен е

бил Миликан при задаване на единиците на измерваните величини (по онова време все още практика всред много физици).

Накратко, триумфална работа на един изключително самоуверен учен, от първостепенно значение за своето време и напълно достойна да бъде цитирана като част от обосновката за неговата Нобелова награда през 1923 г.: “за работата му върху елементарния заряд на електричеството и върху фотоелектричния ефект”. Ако склонни към равене в историята учени прегледат тома на *Physical Review* от 1916 г., в който е публикувана статията на Миликан, те ще забележат, че по онова време в Америка физиката е все още една неясна смес. Там могат да се намерят редица приноси на учени, между които А. Х. Комптън, П. У. Бриджман, Ървинг Лангмюр, Е. К. Кембъл (А. Е. Мичълсън е член на Редакционната колегия). Техните статии показват, че вниманието е съсредоточено върху експерименталната страна на науката, в която, както се е смятало, американците са най-заинтересовани и компетентни. Но томът като цяло, публикуван в месечни броеве, средно от по 200 страници единия, показва, че голяма част от физическите разработки, осъществявани в САЩ в началото на този век, са били все още ограничени и неамбициозни, дори с тенденция да изпадат в продължителни описания на подобрения в хранващите блокове, помпите, галванометрите и други подобни.

По-нататък, прелиствайки първите страници на същия този том и откъса, публикуван два месеца по-рано, през януари 1916 г., попадаме на друга статия на същата тема от Миликан, в която още с първото изречение той съобщава мнението си, че “Уравнението за фотоелектричеството на Айнщайн ... не може според мен да бъде разглеждано в този момент като почиващо върху каквато и да било задоволителна теоретична основа” даже ако “то действително да представя много точно поведението” на фотоелектричеството (стр. 18).

Нещо повече, знаейки това и препрочитайки следващата статия на Миликан (от март 1916 г.) върху константата на Планк, виждаме по-ясно, че той навсякъде категорично се дистанцира от опита на Айнщайн от 1905 г. в това, което Миликан нарича “свързване на фотоефектите ... с която и да е разновидност на квантовата теория” (стр. 355). В онова, което ние днес наричаме фотон, Миликан вижда “самонадеяна, за да не кажа безразсъдна, хипотеза” – безразсъдна, както защото е била несъвместима с такива класически представи за светлината като явление на разпространение на вълни, както и поради “фактите на интерференция” (стр. 355). Зад всичко това съзираме присъствието на Мичълсън, “Майсторът на светлината”, който е бил любимият покровител на Миликан и негов колега в лабораторията Райерсън, Нобеловият лауреат от 1907 г., прочут със своите интерферометри, осъществяната с тяхна помощ работа – и поради верността на Мичълсън към физиката на етера до смъртта му през 1931 г.

Така че статията на Миликан съвсем не е, както бихме я разглеждали естествено днес, едно експериментално потвърждение на квантовата теория на светлината. Макар Миликан да приема, че фактите изглеждат “изискват известно модифициране на класическата теория” (стр. 355), не това е нещото, което той желае да опита в нея. И действително, самият Айнщайн, още от самото начало, не се чувства уютно с квантовата теория на светлината, наричайки я в едно писмо от май 1905 г. до приятеля си Конрад Хабиخت “твърде революционна”. Това е единственият път, когато той характеризира по такъв начин свой труд, използвайки тази фраза, защото това било само едно негово “евристично” предложение, лишено от достатъчна теоретична основа.

Случило се така, че през 1912 г. Миликан прекарал шест месеца в Европа, преди всичко за да се срещне с най-изтъкнатите физици и за да присъства в Берлин на лекциите, които Планк изнасял върху теорията си за топлинното излъчване. Използва тази възможност и за да изнесе една лекция, през юни 1912 г. пред Германското физическо дружество, върху резултатите си от експеримента с маслената капка. Планк бил доволен от присъствието на този новодошъл побратим, който носел със себе си най-добрата съществуваща по онова време стойност за заряда на електрона, която добре се съгласувала със собствените му умозаклучения, следващи от формулата му за излъчването. Чрез тази лична среща две от най-важните универсални константи, h и e , намират обща основа.

Връщайки се в САЩ, през декември 1912 г. Миликан изнася една лекция на срещата в Кливланд на Американската асоциация за научно развитие и Американското физическо дружество, в която съвсем ясно гледа на себе си като на истинския представител на Планковата теория на излъчването. Миликан сравнява различните форми на квантовата теория, обект на обсъждания по онова време, като застава на страната на “най-слабо съсредоточената”, а именно тази на Планк, противопоставяйки се на “най-съсредоточената”, тази на Айнщайн, която той нарича “радикална”, защото не може да бъде съгласувана с “фактите на дифракция и интерференция, така пълно хармонизирани във всеки свой детайл със старата теория на вълните в етер”. Нещо повече, той признава, че корпускуларната теория на светлината за него е била “съвършено немислима”. Накратко, класическата статия на Миликан от 1916 г. е била откровено насочена към това да бъде потвърдено уравнението на Айнщайн за фотоелектричния ефект и да бъде определена h , без да се приеме което и да било от “радикалните” заключения, които сега изглеждат толкова естествено.

Отворените неотдавна записки на Нобеловата фондация показаха, че след 1916 г. Миликан е бил номиниран непрекъснато. Когато през 1923 г. наградата става факт, неговата Нобелова лекция от 23 май 1924 г. съдържа части, които разкриват непрестанната му борба със смисъла на собствените му постижения: “След десет години на анализи, промени, изследвания и понякога на досадни грешки ... тази работа доведе, противно на собствените ми очаквания, до първото пряко експериментално доказателство ... за точната обосновааност при малка стойност на експерименталната грешка на уравнението на Айнщайн и до първото пряко фотоелектрично определяне на Планковата h ”. В действителност е трудно да се открие каквато и да било публикувано в експерименталните статии на Миликан основание, подсказващо за борбата му срещу собствените му очаквания. Вътрешният му конфликт е бил от малко по-различен вид, както проличава от един по-нататъшен откъс от лекцията му: “Общата валидност на уравнението на Айнщайн сега е, според мен, всеобщо приета и в този смисъл реалността на светлинните кванти на Айнщайн може да се смята за експериментално установена. Но схващането за локализирани светлинни кванти, от които Айнщайн извежда своето уравнение, трябва все пак да се разглежда като нещо, което съвсем не е установено.” [Подчертано в оригинала.] Тези емоции вероятно не са изненадали неговата аудитория в Стокхолм, защото Айнщайн е получил Нобеловата награда през 1922 г. “.. и по-специално за открития от него закон за фотоелектричния ефект”, като се изключва както относителността, така и квантите. По ирония на съдбата именно експериментът на Миликан убеждава експериментално ориентирания Комитет в Стокхолм да приеме Айнщайн в онзи кръг на избраници.

И две последни иронични обстоятелства: През 1950 г. на 82 годишна възраст Миликан публикува своята Автобиография. Глава 9 е озаглавена просто: “Експерименталното доказване на съществуването на фотона – фотоелектричното уравнение на Айнщайн.” Към онзи момент, естествено, Миликан се е примирил с фотона. Нещо повече, той е променил мнението си относно осъществяването от него около 1916 г. Защото сега той пише (сс. 101-102), че когато експерименталните данни са станали ясни в неговата лаборатория, те “доказаха просто и безспорно, според мен, че излъченият електрон, който излита с енергията $h\nu$, получава тази енергия при прякото предаване на $h\nu$ единици енергия от светлината към електрона [подчертано в оригинала] и следователно едва ли дава възможност за друга интерпретация, освен първоначално предложената от Айнщайн, а именно тази за самата полукорпускулярна или фотонна теория на светлината.” Накрая Миликан преобразява сложната лична история на своя прекрасен експеримент, така че тя да съвпадне с простата история, разказвана в толкова много от нашите учебници по физика [2].

Друго едно иронично обстоятелство, което възниква от тази история, се отнася до факта, че, както го казва толкова добре един от моите лични кореспонденти, “При сегашното разграждане на науката, осъществявано от не-учени, много е направено въз основа на стремежа на учените да поставят въпросите и да анализират резултатите си в светлината на собствените си вярвания. Статията на Миликан е един прекрасен анти-пример, тъй като е тъкмо случай на човек, който осъществява превъзходна работа по утвърждаване на резултата от една теория, в която самият той откровено има слабо доверие. Поне в този случай внимателно установените факти говорят сами за себе си с помощта на един много скептично настроен учен”. В това отношение Миликан е само един от неизброимите примери. Самият Планк след 1900 г. е един от най-консервативните и колебливи интерпретатори, воюващи с квантовата теория. Мотивите му са напълно противоположни на откритията му [3]. Онова, което наистина му харесва във връзка с получения от него резултат, който сега носи неговото име и който Миликан пръв постига с голяма точност, е надеждата на Планк да е открил природна константа, която вероятно е абсолютна, така че дори извънземни същества, независимо от всичките им различия с хората, биха приели експерименталната стойност на h . Същевременно ние можем да бъдем напълно удовлетворени от факта, толкова неудобен за “релятивистите”, че h има една и съща стойност, измервана прецизно или пресмятана теоретично в Чикаго по времето на Миликан или където и да било другаде по земното кълбо, независимо от околната среда или социалните условия и дори напук на фалшиви изходни предположения.

Библиография

1. Physical Review 7 (March, 1916), 355-388. Резюме на статията и първоначални резултати Миликан публикува във Physical Review 4 (1914), 73 и 6 (1915), 55. Силно съкратена версия на част от това съчинение е публикувана (само електронно) във Physical Review Focus 3, Story 23 (April 22, 1999).

2. В лекцията си “Историята като мит и муза” (изнесена в Амстердамския университет на 11 ноември 1998 г.) Roger H. Stuewer прави извода, като има предвид тази промяна на историческото документиране, че “дори един толкова велик физик-експериментатор, като Миликан, може да има напълно погрешни теоретични възгледи – и освен това е напълно човешко да се опита да скрие много по-късно своята грешка, като дава очевидно фалшив отчет в своята автобиография” (стр. 17).

3. За кратко описание на тази борба виж J. Holton, *Thematic Origins of Scientific Thought* (Harvard University Press, 1988), pp. 156-159.

(Jerald Holton, Millikan's struggle with theory, *Europhysics news*,
May/June 2000, p. 12-14)

Превод: И. Русев

ТВЪРДЕ МНОГО ГЕНИИ*

Леон Митрани

С друго може да не сме богати, но със спасители на човечеството сме на едно от първите места на земята. По гении на глава от населението сме сигурно първи. На всеки 2-3 години у нас изниква с гръм и трясък някакъв гений, който гори от желание да помогне на загиващата последна издънка на еволюцията.

Преди около 10-12 години един лекар, директор на специално създадения от майката-партия институт за производство на чудодейни, стимулиращи организма лекарства, до толкова се увлече в “творческата” си работа, че реши да предложи универсално средство за снабдяването на човечеството с евтина и достъпна енергия. Край на хроничния глад за енергия! По телевизията, докторът, този великан на мисълта, съобщи, че след дълго търсене вече е намерил начин как да се превръща водата в гориво за мотори с вътрешно горене. Автомобилите вече ще горят само вода. Електроцентралите ще се освободят от разноски за въглища, газ или уран, хората ще се отопляват без пари и няма да има никакво замърсяване на въздуха. За да бъде по-убедителен и да спечели повече вярващи привърженици, (което значи и повече пари), този ловък фокусник реши да покаже как стават нещата. Изглежда той си е помислил, че всички зрители са неукни както членовете на ЦК, които са го поддържали и без никакво стеснение направи “демонстрация”. Пред него, на масата имаше една голяма тенджера от неръждаема стомана, в която както той съобщи има само вода. След това от едно малко шишенце изсипа нещо в тенджерата и поднесе запалена клечка кибрит. Избухнаха пламъци. Водата беше станала гориво! Услужливи, но напълно невежи журналисти разписваха после “изобретателя-гений” дали е продал патента си в чужбина и за колко пари. Героят скромно заяви, че са му предлагали няколко милиарда долара, но той от родолюбиви чувства решително отказал.

След няколко години изникна друг гений. Вестник “Труд”, с много печатен шум извести за епохалното постижение на друг доктор. Този наш доктор пък открил средство за лекуване както на СПИН, така и на рак. Лекарството му вече било прилагано и известен брой (не е ясно колко точно) хора били излекувани напълно. Лекарството не било скъпо и всеки болен от тези страшни болести можел да си го достави. Вестник “Труд”, както си знае, подхвана хвалби за родния гений, който ще спаси човечеството и ще донесе на бедната ни държава поток от злато. Докторът замина за САЩ да продава изобретението си на някоя от големите фармацевтични фирми. “Труд”, който го проследи и там, тръпнеше от предвкушане на триумфа на доктора. Чакаше се как ще гръмнат световните информационни агенции и, разбира се, ще споменат вестника, който морално е подкрепил изобретателя. Нищо не последва. Нито дали докторът е продал изобретението си, нито колко пари е спечелил за страната ни. Вестникът спря да пише на тази тема и просто забрави случая.

Един наш инженер оповести гръмогласно (май че пак чрез “Труд”), че е конструирал мотор за автомобили, който използва за гориво всичко, което може да гори, включително и олио. Вестникът отпечата схема на мотора и обяснения за принципа на работа. Всеки може да си представи какво грамадно улеснение за мотористите ще бъде

този мотор. Няма да купуват все по-скъпия бензин или газьол, а ще горят каквото им падне в момента, без да преустройват мотора. Такъв двигател може да се окаже много подходящ за опазване чистотата на въздуха. Просто ще се подбират горива, които не създават вредни газове. И шум няма да има, защото не стават никакви експлозии. Според изобретателя моторът може да работи на ниска температура с много голям коефициент на полезно действие. Това означава, според него, че той е съвсем икономичен. Не стана ясно дали някоя голяма автомобилна фирма се е заинтересувала от изобретението. Изобретателят май не знае, а също и журналистите, че коефициентът на полезно действие на топлинните машини съществено зависи от разликата в температурите на източника и на охладителя (в този случай околния въздух). При малка разлика коефициентът на полезно действие е също малък. И при това “откритие” ентузиазмът на журналистите беше много голям. После си замълчаха и забравиха за случая.

С луксозна, дебела книга, на хубава хартия и идеален печат ни беше съобщено (този път не от вестник и не от доктор, а от фармацевт), че авторът е открил универсалния закон, на който се подчиняват всички явления в природата, от мъртвата природа и космическите тела, до живите организми и човешките общества. С откриването на този закон се слага точка на мъчителните търсения на учените от различни специалности да обяснят явленията в природата. Цялата физика, с теорията на Айнщайн, квантовата механика и термодинамика, цялата биология, цялата химия, социологията - всичко се дава с една съвсем проста формула, която се учи във втори клас, но която до сега не е била забелязвана! Този път вестниците не гръмнаха само защото става дума за природни закони, а не за печалби.

Един красив и приятен млад българин, който живее във Франция събщи чрез телевизията в предаването “Панорама” и с една книга, че е открил причината за атеросклерозата, която както знаем, мори безпощадно българите и разни други народи. Този човек, с неясно образование твърди, че с проведените от него опити (къде и как?) става ясно, че задръстването на кръвоносните съдове на човека се причинява от гъбички. Опитите доказвали, че в отлаганията по стените на съдовете има гъбички и, следователно, те са причината за смъртоносното задръстване на съдовете. От тук следва гениалният извод - да се пият фунгициди - противогъбични препарати. Тези препарати са напълно достъпни и евтини. Всеки човек може да си ги достави от най-близката аптека и да се излекува от атеросклерозата си. Увлечен в откритието си, младият човек не си е дал труда да научи как се съобщават резултатите от научни изследвания. Установена практика е да се публикува в научен журнал, най-добре с международна репутация. Авторът на подобна публикация е длъжен да събщи къде, при какви условия и как са проведени изследванията. Когато става дума за медицински изследвания, е абсолютно необходимо да се дадат статистически данни - колко хора са били подложени на действието на дадена процедура, колко са участвали в опитите само като “неутрални”, как са били подбирани участващите и т.н. Да се правят опити с хора е възможно само в ограничен брой случаи и то след като подобни опити са били правени на животни. Нищо подобно при нашия откривател няма. След неговото излизане по телевизията, пак по телевизията двама много известни наши медицински работници-професори обясниха как се правят нещата. Те съобщиха също така, че е известно, че в плаките по стените на кръвоносните съдове са намерени различни микроорганизми, в това число и гъбички, но все още не е ясен механизмът за атеросклерозата. Претендентът за гениалното откритие не е виновен, че хората, които са гледали “Панорама” са останали с погрешни впечатления. Виновен е водещия на

предаването. Той би трябвало да се информира предварително за надеждността на излаганите данни. Един журналист не бива да се подвежда от случайни лица, които искат да станат известни. Той трябва да мисли и за собствената си репутация.

Изглежда, че напоследък телевизията става любимо средство за изтъкване на гениални постижения. По канал 2001 беше показан един индивид, който беше представен като академик на неznайно коя академия. Академикът събщи, че е открил начин за извличане на енергия от вакуума, т.е. от нищо. Скоро по неговият метод ще се произвежда съвсем безплатна енергия и човечеството ще се отърве от необходимостта да строи електроцентрали и да използва горива. Съвсем сензационно беше и друго съобщение на академика: в САЩ са били открили тайно психотропно оръжие, което може да въздейства на отделни хора, на цели градове или на цели държави като ги унищожава. Разпадането на СССР е резултат от въздействието на това оръжие. Досега никой не е надниквал в тайните лаборатории, където се произвежда това оръжие, но нашият академик има някакви неznайни канали за получаване на секретна информация.

Нужни са съвсем малко познания и то от общ характер за да се прецени, че имаме работа с отклонение от нормата. Изглежда, че водещата на канал 2001 няма и тези познания, за да позволи повече от час да бъдат заблуждавани зрителите с явни глупости. Това, в същност, изглежда става правило у нас. Цял генерален щаб на армията прояви отчайващо невежество като хвърли маса пари и ангажира стотици войници да копаят някакви дупки по полето. Секретна врачка им била съобщила мястото където били заровени останките от междузвезден кораб. И никой нямаше да узнае за лудешкото действие на войската, ако военните не се похвалиха (със закъснение) как са организирали акцията за копане.

Има десетки други примери за гениални открития у нас, за които просто не си заслужава да се пише. Общото лековерие вече достига опасни размери. Излизат обяви на екстрасенси (американците ги наричат “психове”), които лекуват 200 болести, бързо и ефикасно. Други “специалисти” развалят черни магии и правят бяла. Неграмотни селски врачки биват провъзгласявани за пророчици, не от неграмотни хора, а от интелектуалци, които би трябвало да знаят нещичко извън художественото творчество, в което са признати майстори. Лековерието довежда до това, че всякакви дивотии могат да бъдат използвани било за печелене на пари, било за престиж или политическо въздействие. Лековерни вече стават не само прости хора, но и такива, които имат солидно образование в някаква хуманитарна област или имат научна специалност. Лековерието се превръща в национална болест, която не ни обещава нищо добро.

И в развитите страни има не малко лековерни хора, които вярват в прераждане, духове, чудеса и космическа намеса. Там, обаче, се спазва някакво негласно споразумение между журналистите от сериозните вестници да не помагат за разпространяването на суеверия. В никой от големите ежедневници или списания няма да намерите обяви като тези, за които току що стана дума. Най-много, което си позволяват, е да печатат редовно астрологически съвети. Ние се считаме, и с право, за по-образовани от хората на Запад. Въпреки това суеверието и податливостта към измами у нас е много по-голяма. Как никой у нас не се замисля, че 1 / 2 от всички жители на страната имат едни и същи зодии и би трябвало да са съвсем еднакви по държане, постижения, любовни преживявания. С увлечение, което вече не е само лека шега, телците, рибите и раците четат какво ще им се случи през седмицата.

Лековерието е особено опасно, когато бива използвано от безсъвестни политици. Демагозите активно се осланят на лековерието. Те обещава̀т невиждан разцвет, богатства и здраве на измъчения ни народ. Не си дават труда да обяснят как точно ще се постигне това. Осланят се напълно на склонността да се вярва на небивалици. Като резултат може да се получи на власт да дойдат безскрупулни и безсъвестни хора, които умеят да манипулират избирателите също както екстрасенсът лекува̀щ 200 болести. Лековерието помага на разните мисионери от християнски или ислямски секти да привличат все повече привърженици. Стотиците регистрирани партии (нещо, което е нечувано в цивилизованите страни), се напъват да влязат във властта като обещава̀т благосъстояние за бедните и здраве за богатите. И всяка от тези партии има привърженици! Хора, които вярват.

С лековерието не може да се води борба посредством закони. Никакви административни мерки не могат да отклонят хората от врачките, екстрасенсите, политическите демагози и религиозните мистици. Необходимо е, най-сетне, гилдията на журналистите да приеме някакъв правилник за морално поведение, който да изисква едно честно, просветено използване на медиите. Вместо да търсят сензации, с които да хванат читателите, слушателите и зрителите в мрежите на тъпотията и невежеството, журналистите трябва да поднасят материалите си така, че да не се разпалват глупостта и незнанието. Медийните работници имат отговорност пред обществото и в никакъв случай не бива да злоупотребяват със склонността на хората да вярват.

* Вестник “Демокрация”, 18 януари 2001 г.

ОБЩЕСТВЕНИЯТ ДОГОВОР ЗА НАУКА: ФУНДАМЕНТАЛНО И ПРИЛОЖНО

Роджър А. Пилке мл. и Редфорд Бърли мл. *

Научната политика изпълнява обществен договор. В САЩ след Втората световна война тази договореност беше възложена на обществото – чрез правителството, което даваше на науката пари и относителна самостоятелност, а в отплата извличаше практически изгоди, които произтичаха неизбежно. Прието някога, днес това съглашение е невалидно. Сега се нуждаем от ново разбиране на това как науката най-целесъобразно да обслужва националните потребности.

Неотдавнашни промени в контекста на науката разкриха проблеми на лежащата в основата ѝ политика. Такива промени включват солидно финансиране, изисквания за по-отговорно управление, появата на нарастващи проблеми на комплексната политика, свързана с глобалните икономически и екологични спорни въпроси и края на студената война, които изместиха прикриващото оправдание за изследвания с въпросителен знак. Такива промени означават, че спонсорите на изследванията - не само тези, които присъждат субсидиите, но и законодателите, които правят бюджета, и в крайна сметка и обществеността - сега се нуждаят и очакват повече и различни практически изгоди от науката.

След Втората световна война нито политици, нито учени считаха, че е нужно да демонстрират механизъм или модел за благодетелстване на обществото от науката. И двете групи просто приемаха, че ползата извира от изследването. Тук е проблемът на политиката. Нито политици, нито учени могат да кажат кое изследване е най-подходящо, за да доведе до полза, нито как може да се планира изследване, оправдано или оценено чрез ползата. Тъй като дори песимистичните бюджетни сценарии все още призовават за милиарди долари за изследвания, критичният проблем от гледна точка на обществото не е дребни промени в изследователското финансиране, а липсата на прозрачно разбиране на това как изследванията принасят полза на обществото.

Критика на съществуващия договор

Текущият социален договор, който лежи в основата на научната политика на САЩ, е основан на критерии, изказани в знаменития доклад на Ваневар Буш от 1945 г. *Науката - безкрайната граница*. Този договор е основан на три основни приемания:

- 1) *Научното знание е необходимо за задоволяване на националните потребности.* Първостепенно оправдание за федералната поддръжка на изследванията е очакваният принос към широки национални потребности в такива области като отбраната, здравето, околната среда и технологията.
- 2) *Прост линеен/резервоарен модел описва как науката задоволява националните потребности.* В модела знанието, получено в основните изследвания, се втича в резервоар, от който обществото черпи, за да създава блага.

3) *Научната общност изисква относителна автономия* от политически и други социални дела, за да пълни успешно този резервоар. Автономията е скрита в модела, защото резервоарът изолира науката от обществото и науката не поема отговорност да прилага знанията, които влага в резервоара, а обществото не поставя научни приоритети.

Независимо от това дали моделът описва точно или не как науката задоволява националните потребности, нацията просперира при договора на Буш. Но би могло също да се спори, че благоденствието на САЩ финансира тяхната наука от световна класа и че моделът е без значение. Моделът представя изопачено и опростено посложния комплекс отношения между науката и обществото и широкото приемане на тази погрешна представа пречи на продуктивните дебати за науката.

В линейния (резервоарния) модел информацията тече само в една посока: от основното изследване към приложното изследване, към развитието и накрая неизбежно към практическите изгоди. Но тази последователност е само част от картината. Технологиите често води до нови големи постижения в науката; развитието на космическата технология, например, доведе до астрофизиката на високите енергии.

Социалният договор на Буш по-нататък приема, че обществените изгоди са пропорционални на поддръжката на фундаменталните изследвания. Буш аргументира, че фундаменталните изследвания са лимитиращ фактор в иновацията и нейните изгоди за обществото и че отплатата от фундаменталните изследвания е случайна. "Статистически е сигурно, че от някаква част от фундаменталното изследване ще се получат важни и високо полезни открития, но резултатите от кое да е конкретно изследване не могат да се предскажат със сигурност". Безусловно, всяка добра наука има равен шанс да доведе до практически изгоди, така че колкото повече са фундаменталните изследвания, толкова повече са изгодите. Обаче линейният модел на Буш обезсилва този аргумент, защото изгодите решително зависят от общественото разбиране какво е полезно в резервоара и се взема от него, а не от прибавянето на резултати в него.

Буш по всяка вероятност развива своя модел въз основа на военновременния опит, но военновременните изследвания бяха явно "приложни". Тук нямаше изолиращ резервоар: военните нужди теглеха пряко изследванията; учените "бяха наети да поразяват определена мишена". Научните успехи от Втората световна война създадоха достатъчен политически импулс, за да се въведе моделът на Буш в националната научна политика, но военновременната научна практика се различаваше драматично от линейния модел.

Линейният модел представлява предимно случаен процес на използване на изследванията, като неявно се подразбира, че обществото върви там, където го води науката. Договорът на Буш изключва пряка обществена намеса като поставяне на изследователски пътеки и приоритети. Действително, науката е подотчетна чрез парадокса, че изследване направено за напредъка на науката - без оглед на практическите изгоди - се оправдава чрез практическите изгоди, които в крайна сметка следват. Повечето учени, убедени, че фундаменталните изследвания дават полезни резултати, живеят удобно с парадокса. Но тяхната позиция е погрешна, защото научното любопитство и критерии не пълнят непременно резервоара с информация, от която се нуждае обществото. Дори ако цялата информация би била евентуално полезна,

цялата *необходима* информация не може да бъде достъпна в дадено време. Логиката на социалния договор е обърната наопаки, защото започва с изследването и опитва да докаже, че то е полезно, вместо да започне с националните нужди и да докаже, че изследването е насочено към тях.

Като резултат, нито опитът, нито логиката доказват, че установената система на ръководене на изследванията и използването им е най-добрата, единствената или желаната система. Фактът, че обществото се облагодетелствува много през епохата на Буш и са били задоволени много национални потребности, не доказва, че неговият договор беше обоснован, нито осигурява, че ще работи в днешната обстановка.

$(1) \Rightarrow (2) \Rightarrow (3) \Rightarrow (4) \Rightarrow (5) \Rightarrow (6)$

Фиг. Линеен/резервоарен модел на това как финансираните от правителството фундаментални изследвания водят до обществени облаги. Въпреки, че е широко приет, този модел е твърде неточен за обслужване на науката или обществото в днешния бързо променящ се свят.

(1) Пари. (2) Фундаментални изследвания (оценявани чрез вътрешни критерии на науката). (3) Резервоар от знания. (4) Приложни изследвания (оценявани чрез външни за науката критерии). (5) Разработки. (6) Социални ползи: икономически, екологични, медицински, индустриални, технологични ...

Проблемът за терминологията

Терминологията на социалния договор и специално фразата "фундаментални изследвания" възпрепятства продуктивния дебат върху научната политика. "Фундаментално изследване" произлиза от идеала на 19 век за "чиста наука". През 1870 г. учените се противопоставиха на "ценностите външни за науката" и подхранваха "издигането на идеала за чиста наука" като "всеобщо споделяна идеология ... възглежда за наука заради науката". Науката не преследваше целта да решава "някои материални проблеми, защото беше похвално да прибавя каквото може към вечно растящата катедра на знанието". Първото издание на *Science* (Наука) през 1883 г. изрази трогателно тази идеология: "Дори приемайки, че откриването на истината заради самата нея е благородно занятие ... може лесно да се съгласим, че човек, който не открива нищо, но само прилага за полезни цели принципите, които други са открили, стои на по-ниско ниво от изследователя." Контрастът с "чистото" подразбира, че приложното изследване е нещо опетняващо и води до централната догма на Алвин Уайнбърговата аксиология на науката, че "чистото е по-добро от приложното". Малък брой учени от този ранен период, вкл. Т. Н. Хъкли и Луи Пастър, се съпротивляваха на това, което виждат като фалшива разлика между чисто и приложно изследване и малко политици правеха такава разлика. За тях полезността беше окончателен тест за цялата наука.

Учените, приели идеала за "чиста наука", се оказаха с вързани ръце. За правителството, което представляваше обществото при оценяване на практическите изгоди от науката, беше немислимо да финансира чистото изследване на ниво, желано от научната общност. Това положение разстройваше учените, които разбираха, че именно напредъкът в знанието е довел до много практически ползи. Те създадоха рудиментарно оправдание "с един куршум два заека" за своето желание да търсят

истината и желанието на обществото за практични изгоди: те аргументираха, че науката беше основата за много практични ползи. Но тези ползи, очаквани или осъществени, не трябва да бъдат стандарт за оценка на научната работа, защото това би насочило науката далеч от нейния идеал - търсенето на знания. Аргументът не можа да повлияе на политиците, които останаха скептици към научната общност, която виждаха като опитваща се да избяга от демократична достъпност. Както жлъчно се изказа един конгресмен "Учените твърдят, че всичко е практично, нали?"

Правителството на САЩ особено много не поддържаше чистите изследвания докъм средата на 20-ти век, когато Буш подобри аргумента "с един куршум два заека" и го представи на политиците, които бяха впечатлени от научните успехи на Втората световна война и предизвикани от технологичната надпревара със СССР. Буш замени фразата "чиста наука" с "фундаментално изследване"; по такъв начин учените биха могли да наричат своята работа "фундаментална" без да се очернят с по-практична дейност. При тази критична промяна, "фундаментално" значеше основно, съществено за началната точка, правейки по такъв начин фундаменталното изследване основа за следващи практични ползи. С един ред, беше спечелена поддръжка на "наука заради знанието" и на линейния модел на иновация в социалния договор на Буш.

По такъв начин договорът на Буш запази ценностите на научната и политическата общности. *Науката - безкрайна граница* представляваше строг, утилитарен начин на правителствена поддръжка на търсенето на знание. Вътре в научната общност каноните за чисто и фундаментално изследване бяха неизменни между пред- и следвоенната ера. Но политиците имаха важна нова разлика: "чиста наука" има малка връзка с ползността, но "фундаментално изследване" би снабдявало резервоара от знания, "от който практическите приложения ... трябва да бъдат извлечени". Както политиците четяха договора, той не съдържа израз за търсенето на знание заради самото него; те вярваха, че цялото научно знание би могло да се окаже полезно.

Различните пътища на виждане на фундаменталните изследвания от политици и учени съществуваха, понякога неудобно за мнозина от следвоенната ера. Разликата предизвика интелектуално напрежение, което Джордж Даниелс нарече "шизофрения" у учените (които добре познават явлениято): "Докато учените твърдят помежду си, че техният първичен интерес е концептуалния аспект на техния предмет, те продължават да оправдават публично фундаменталните изследвания, твърдейки, че те водят винаги до "полezni" резултати". Те оправдават фундаменталните изследвания като приложни. Даниел Гринбърг нарича разликата "основна политическа дилема на фундаменталните изследвания в Съединените щати". Фундаменталните изследвания се финансират на много основания, но най-силното е "вярата, че може да се осигури полезен резултат" - политическата общност оценява фундаменталните изследвания по това, което осигурява, а не толкова поради научни мотиви или изследователски процес. Следователно изследователските мотиви "само частично съвпадат с утилитарните мотиви на шефовете".

Това частично съвпадение направи социалния договор работещ. С различни ценности и мотиви, науката и обществото поддържаха своя договор, защото той служеше адекватно, макар и неточно на двете направления очаквания - получаването на знания и практическите нужди. По-специално, от гледна точка на обществото, договорът решаваше проблемите. САЩ спечелиха студената война. "Преодолени" бяха редица болести. Ядрената технология обещаваха евтина енергия. От гледна точка на науката,

повечето добри идеи бяха финансирани. Поради американското икономическо превъзходство нямаше твърде силен натиск за практически резултати. И двете страни на договора бяха щастливи. Шизофренията на социалния договор не стана патологична, тъй като удовлетворяваше и двете страни. Но времената се измениха. Сега никоя страна не е доволна.

Крахът на социалния договор

Започваме да виждаме, че малко проблеми имат чисто научни решения. Инфекциозните болести развиват устойчивост към антибиотиците. Разпространението на отпадъци и оръжия помрачава ядрения избор. Учените са недоволни, тъй като изследователските възможности изпреварват бюджетните и много хубави идеи остават неосигурени. Глобалното съревнование тласка финансирането към краткотрайни приложни изследвания и тяхното бързо изплащане, докато съревнованието за господство изисква строги, дисциплинирани изследвания. Даниелс обяснява така противоречието на фундаменталната политика, присъщо на социалния договор:

"Идеалът за чиста наука изисква науката да бъде напълно отделена от политическото така, както от религиозното или утилитарното. Демократичната политика изисква разходите от обществените фондове да не се отделят от политическата ... отговорност. С такива диаметрално противоположни допускания конфликтът е неизбежен."

През годините на нарастващи бюджети науката и обществото игнорираха противоречието и избегнаха конфликта. При оказвания съвременен натиск за подотчетност обаче конфликтът е неизбежен. Учените разбират своята правоспособност да провеждат фундаментални изследвания, без да бъдат ограничавани от изисквания за практически изгоди, докато политиците съжаляват, че фундаменталните изследвания не могат да се насочат към практически нужди. Вярата в социалния договор отслабва, диалогът се движи извън частичното припокриване на мотивите, а разликата в мотивите на учения и политика става опасна. Както казва Доналд Стоукс:

"Политическата общност възприема несериозно молби за финансиране на изследванията като призови за поддръжка на *чистите* изследвания от научната общност, което може да звучи като повечето други групи интереси. По същия начин научната общност възприема несериозно молби от политическата общност за провеждане на "стратегически изследвания" като призови за чисто приложни изследвания."

Реакциите на политиците към тази ситуация се подреждат от критиките и призивите през различните пътища да се разпределят средствата, към законодателството. През 1993 г. сенаторката Барбара Микулски призова за "стратегически изследвания" фокусирани върху националните цели. Съгласявайки се с Микулски, депутатът Шервуд Болърт изрази своето разочарование: "Апаратът на федералната наука беше установен с ясната представа, че изследванията са необходими, за да изпълнят специфични национални цели... Целта на системата не беше да се види, че всеки потенциален изследовател би могъл да получи федерална поддръжка". Депутатът Джордж Браун постави диагноза на общия проблем: "Докато науката получаваше бързо кредит за социален напредък, пътят от научното откритие ... до ползата не е нито сигурен, нито праволинеен".

Опитвани бяха различни други предложения за свързване на изследванията с националните потребности. Правителственото разпореждане и резултативен акт от 1993 г. изисква всички правителствени програми, вкл. изследванията, да оценяват количествено установените цели според разпореждането. Независимо от това, както е отбелязано от председателя на Националния изследователски съвет, който изучава резултатите, "съществува голяма пропаст между исканията за оценка на изпълнението ... и получаването на онова, което е подходящо и полезно". Даниел Саревитц препоръчва проучвания на изследванията, за да се определи "как може да се насочат по начин по-съвместим със социалните и културните норми и цели и как действително ще повлияят на обществото". Стоукс елиминира дихотомията между изследване, водено от чисто научни критерии, и изследване, отговарящо на социалните нужди, чрез изменение на единичната ос "фундаментално срещу приложно" в двумерна равнина - с едно измерение отбелязващо степента до която изследването е водено от желанието да се разбере природата, и друго, отбелязващо степента, до която то е водено от практични съображения". Този подход показва, че добрата наука може да бъде концептуално съвместима с практическите приложения, но не се позовава на специални политически стъпки.

Типично е, че научната общност парира предложения като тези, изисквайки по-голямо текущо финансиране. Например през 1994 г. Националният изследователски съвет започна конструктивен диалог с учените и други върху изменящата се околна среда на науката, но накрая неговият доклад определи тясно проблема за обществената политика като "подходящо ниво и разпределяне на федералните инвестиции" при изследванията. По-късно докладът на Националната академия на науките препоръчва аналогично, че науката в САЩ би трябвало да бъде от световна класа във всички главни области, ефективно препоръчвайки финансово обезпечаване на науката.

Към нов договор

Преразгледаният социален договор ще признае, че политическите решения за Федералния изследователски архив са политически решения с научен принос и следствия, а не научни решения, изпълнявани чрез политиката.

Всеки е съгласен, че общественото осигуряване на науката би служило на националните интереси, но след това повечето дебати върху научната политика се обръщат в погрешна посока. Тъй като линейният модел затруднява нашето разбиране и тъй като не признаваме политическата природа на политическата дейност, ние задаваме погрешния въпрос: каква е собствената роля на Федералното правителство в кредитирането на науката? Този въпрос подразбира, че науката има правото на поддръжка независимо от каквито и да било социални дела, че нацията трябва да се занимава с поддръжката на науката, а не обратно. Вместо това трябва да се запитаме: какви изследвания ще поддържа Федералното правителство, за да задоволява националните потребности? Този въпрос води до приетите критерии за планиране, оправдаване и оценяване на изследванията.

Тъй като научната политика е по природа политическа, нейният широк социален контекст е критичен. Изтъкната черта на днешния контекст е изменението. Научната политика вече е в преход от договора на Буш, но новият още не е формиран, както е показано на схемата на тази страница. Новият договор ще бъде гъвкав, признаващ че контекстът за науката ще продължава да се изменя.

Препоръчваме на научната общност да направи четири начални стъпки в развиване на подобро разбиране на връзката наука/общество и да преразгледа социалния договор. Предвиждаме процес на приемане, изучаване и изменение, включващ части както в научните учреждения, така и извън тях. Първите две стъпки призовават за нова перспектива, която е предварително условие за успеха. Последните две призовават за действия и могат да се извършват едновременно.

	Договор на Буш	Преходен период	Преразгледан договор
Наука за национални нужди	Науката е необходима, фундаменталните изследвания задоволяват националните потребности.	Науката се счита за необходима, но не е ясно, как задоволява националните потребности.	Науката е необходима, потребностите се задоволяват с известното и наученото от изследванията.
Модел	Линеен/резервоарен модел	Объркване. Мнозина поддържат стария модел, често несъзнателно. Съревновават се алтернативни нови модели.	Търси се прозрачен и работещ модел за формулиране на политиката.
Подотчетност	Автономия спрямо социалните дела. Формална подотчетност, т.е. "добра наука", определена от показните обзори.	Борба с подотчетността, социално измерване, включено чрез традиционните груби политически средства.	Подотчетност на езика на "добрата наука" и социална оценка, използваща механизмите на новия модел.

Стъпка 1: Възприемане на промяна; въздържане от защита на статуквото

Учените трябва да приемат, че техният свят е променлив и да търсят как да помогнат за оформянето му. Те трябва да осъзнаят, че решенията на научната политика са по необходимост политически; учените би могло лесно да се изключат от процеса. Новият договор ще засегне научните лидери, които са свикнали със статуквото, но ако научната общност не участва енергично и конструктивно, хора с по-малко участие в науката ще заемат мястото им.

Стъпка 2: Освобождаване на дебата от краткосрочни кредитни дела

Ревизирането на обществения договор не може да се направи върху график, воден от нуждата да се насочи всеки частен бюджетен проблем. Факти за старанието на учените да станат по-демократично достъпни на широкото общество ще бъдат силен аргумент за продължаваща поддръжка на науката.

Стъпка 3: Продължаване на обсъждането на данни и пробни хипотези; излизане от установеното състояние

Имаме малко систематични данни, които да ни помогнат да оценим ефикасността на изследванията при задоволяване на националните потребности. Малкото изследвания, които опитват да корелират изследователските разходи и ползи, не дават механизъм, който да обясни корелацията. Вместо да продължи да се основава на установеното от Буш благоразумие, научната общност би трябвало критично да изследва всички допускания и да отговори на две редици от въпроси, като използва специфични, систематични, опитни доказателства. Първата редица изследва как науката *сега* се свързва с обществото. Втората би се строила върху това как науката би могла да се свърже с обществото дори по по-полезен начин. Вижте набора от въпроси на последната страница. Отговорът би трябвало да води и в двата случая до подобрен модел за благодетелстване на обществото от науката и към нов договор.

Ефективен модел за това разбиране би трябвало да удовлетворява критерии за съдържание и процедура. Първо, моделът трябва да фокусира върху цели като тези заложи широко в американската конституция (напр. "да допринася за общата защита") и по-специално върху мандатите на агенциите (като целите на Агенцията по охрана на околната среда да разбере здравните ефекти на замърсяването на въздуха, или на Националната научна фондация да поддържа напредъка на знанието). Второ, моделът трябва да представя точно механизмите на влияние на изследванията върху обществото; решение на научната политика, основана на модела, би трябвало да има планирания ефект. Трето, моделът трябва да отразява контекста на политиката, в която ще бъде изпълняван, което включва разглеждане на национални проблеми, ресурси и алтернативни приложения за тях, политическа и техническа осъществимост, социални цели и стойности, и накрая, оправдания, очаквания, оценки и подотчетност. Новият модел трябва да бъде функционален, не само метафоричен. Вече имаме няколко примера в агрокултурата и отбраната как изследванията могат ефективно да посрещнат националните потребности.

Стъпка 4: Начало на преговорите за нов договор

В някои отношения новият договор би могъл да изглежда като стария, но в новия договор изследванията трябва да бъдат по-малко изолирани, отразявайки широкото поле от съображения, подходящи за практичните проблеми. Например, договорът на Буш оправдава кредитирането на климатичните модели на оранжерийното отопление, аргументирайки, че предсказателната сила на моделите ще улесни усилията да се разработи политика относно антропогенните климатични промени. Обаче усилията на политиката, основани на теоретични климатични предсказания, са аналогични на основаване върху политически реалности. В новия договор изследването на климатичните изменения би могло да играе по-малка роля - все още важна и трудна, но по-реалистична - на привличане на вниманието към потенциални проблеми и придвижването им към политическа тема, докато политическата общност дискутира, изпробва и оценява областта от политически алтернативи. В новия модел изследванията - физични, биологични, социални, политически - биха играли определена роля в глобалните изменения на политическото развитие, простирайки се от приноси в знанието, необходими да обрисуват политическите алтернативи, до оценяване на политическото изпълнение. Науката не би обещавала политическо решение, възникващо от фундаменталните изследвания; по-скоро тя би играла роля в политическото развитие и оценки.

Ясно е, че това няма да бъде обсъждане с учените от едната страна на масата и обществото от другата, но концепцията за нов договор е полезна. Учените трябва да разработят опитни елементи на нов договор и да ги изпробват широко, например в тяхната изследователска работа, при изпитания, при социализиране на новите дисертации. Преобсъждането е в ход сега, но пробно, несъгласувано и широко несъзнателно. То трябва да бъде точно, съгласувано и ангажиращо, но и гъвкаво, печелившо и самокоригиращо се, с много успоредни опити. Процесът трябва да предлага участие на всички учени и да изисква конструктивен принос извън научната общност.

Как науката да се свърже с обществото?

- По какъв начин науката допринася за националното благосъстояние?
- Във връзка с конкретните национални потребности, какви са относителните разходи и блага за обществото от приложението на съществуващото знание спрямо генерирането на нови знания?
- Как науката взаимодейства с обществото за произвеждане на блага?
- Какви важни проблеми не се решават чрез научни изследвания?
- Към кои важни проблеми науката може да даде само незначителен принос?
- Дали поддръжката на изследвания върху социални проблеми е съразмерна със значението на проблемите?
- Как националните потребности се съобщават на учените?
- Как се оценява науката?

Как науката може да подобри своите връзки с обществото?

- Как учените да опознават и разбират по-добре националните потребности?
- Как науката може по-добре да насочва непостоянни, вътрешно несъстоятелни или несъгласувани потребности?
- Как науката може да насочи по-добре социалните проблеми? Или, как може социалните проблеми да се превърнат в изследователски научен въпрос?
- Как може проблемите да се насочват без политическо влияние?
- Как науката може да избегне вредата за себе си при получаване на непопулярен резултат?
- Как може да се поддържа навсякъде научното качество?
- Как може да се оцени науката от гледна точка на националните потребности?

- Как да се моделира по-добре доставката на блага?
- Как оценявате дали едни изследвания водят до по-големи социални облаги от други?
- Може ли науката при използването на нови подходи да срещне нови стандарти на подотчетност?
- Как институциите възприемат подбудите за конструктивни изменения?

Заклучение

Не можем да предвидим изхода на този процес - нито новия модел на това как науката облагодетелствува обществото, нито новия социален договор - защото сме свързани 50 години с установеното благоразумие на Буш. Това е причина да се подходи внимателно и да се започне сега.

Ние предвиждаме възможности за увеличаване на разбирането, за повече социални изгоди, за по-добро оценяване на науката и навярно дори за по-голямо кредитиране: възможно е, че бихме могли да научим как да уловим някои от икономическите изгоди от науката, така че някои изследвания да се самоиздържат. Ако научната общност може да осигури ясни и убедителни отговори на горните въпроси и да се обърне към обществото, можем да разберем какво депутатът Браун нарече "изследователска система, която се огъва, насочва и еволюира с обществените интереси" за по-голяма полза за науката и обществото.

Roger A. Pielke Jr and Radford Byerly Jr, *Physics Today*, February 1998

Превод: А. Карастоянов

*Роджър Пилке е сътрудник в Екологичната и социална ударна група към Националния център по атмосферни изследвания в Болдър, Колорадо. Редфорд Бърли е пенсионер. Той е физик и бивш ръководител на Комитета за наука към Парламента.

ДА ОТКРЕХНЕМ ПРОЗОРЕЦ КЪМ ФИЗИЦИТЕ В СОФИЯ

Не сме малко! И макар и да не сме много (по картотеката - 1900 души) поддържахме ежедневна дейност с колегиални и приятелски връзки. Нека се похвалим! Всяка оказала се полезна инициатива съхраняваме като традиционна.

И така - по проблемите на образованието и квалификацията: създадената преди 18 год. *Мартенска лектория* продължава. От 8 год. с голям и нарастващ интерес протича *Юлският лекторат по "Модерни направления във физиката"*, в който наши водещи учени ни информират за последните постижения в своите области. 14-годишна традиция е ежегодният *"Ден на отворените врати"* – ден, в който ФФ на СУ е домакин, широко отворен за демонстрации в лабораториите, лекции, консултации и др. От 3 год. се отвориха и вратите на институтите на БАН. Нова, успешно развиваща се от 3 год. е така наречената *Коледна лектория по проблемите на медицинската физика и биофизиката*. Голям е ентузиазмът на най-младите ни организатори на Декемврийски зимен семинар на докторанти и млади учени от БАН. А какво да кажем за непрекъсвания от 23 год. колоквиум, наречен ФОЧОС (Физиката в Опазването на Човека и Околната му Среда), с ежегодно сменящи се под-теми, който тази година ще се проведе от 22 до 24 юни на тема *"Екологията – комуникация на риска"*. Тези колоквиуми са може би единствените у нас, в които физиците са центърът, около който се обединяват тематично химици, биолози, инженери, лекари, военни и др.

При добронамерени колегиални отношения успехът във всяко направление се постига леко и приятно. Така, когато през откrehнатия прозорец видяхме тъжната безработица, създадохме база данни, осъществихме връзки между центровете и абсолвентите и в периода 1992 г. - 2000 г. успяхме да намерим подходяща работа на 153-ма физика. В помощ ни е и добре поддържаната картотека към Софийския клон на СФБ, както и честите колегиални контакти в помощ на обмяната на опит и добиването на самочувствие, което ни липсваше. Засилихме го до известна степен и чрез ежегодните *Балове на физиците*, където се срещат випуски, преподаватели, осъществяват се нови запознанства. На 27 април в "Яйцето" на СУ предстои 25-ия пореден бал.

И още един поглед през прозореца. Група физици в приятна обстановка дискутират оживено парливите проблеми на образованието. Това е сбирка на основания преди 3 год. *"Клуб на физиците"*. Не е кафе-клуб. Редовно се събираме и дискутираме дадена тема, водена от специалист. Клубът се оказва място, където разширяваме познанията си във физиката, а и извън нея – клонирането, генома, - чести са и срещите ни с известни писатели, музиканти, общественици, учени от чужбина. Честваме традиционни празници – Коледа, Великден, а 24-май – с маскарад в Астрономическата обсерватория. Направихме и две екскурзии из България – "Опознай родината си!"

Преди повече от 20 год. през откrehнатия прозорец видяхме тъжна гледка – *120 деца - сираци*, ученици от I до VIII клас, боси, без дрешки, тъжни и гладни в *Дома – помощно училище в гр. Роман*. Въпреки разстоянието се заехме да ги спасим. Оттогава им помагаме да съществуват. Децата даряват обич и заразяват с обич. В нас те отключиха едно забравено възрожденско чувство – милост към ближния. Невероятен е потокът от дарения. Създадохме им библиотека с 500 книги. Напоследък зачестиха паричните, с

които помагаме в изхранването на малките ни приятели. Ежемесечно и по-често ги посещаваме. А те ни очакват жадни за обич и ласка ... Сега са не 120, а 220 (сливане на училищата?!? ...).

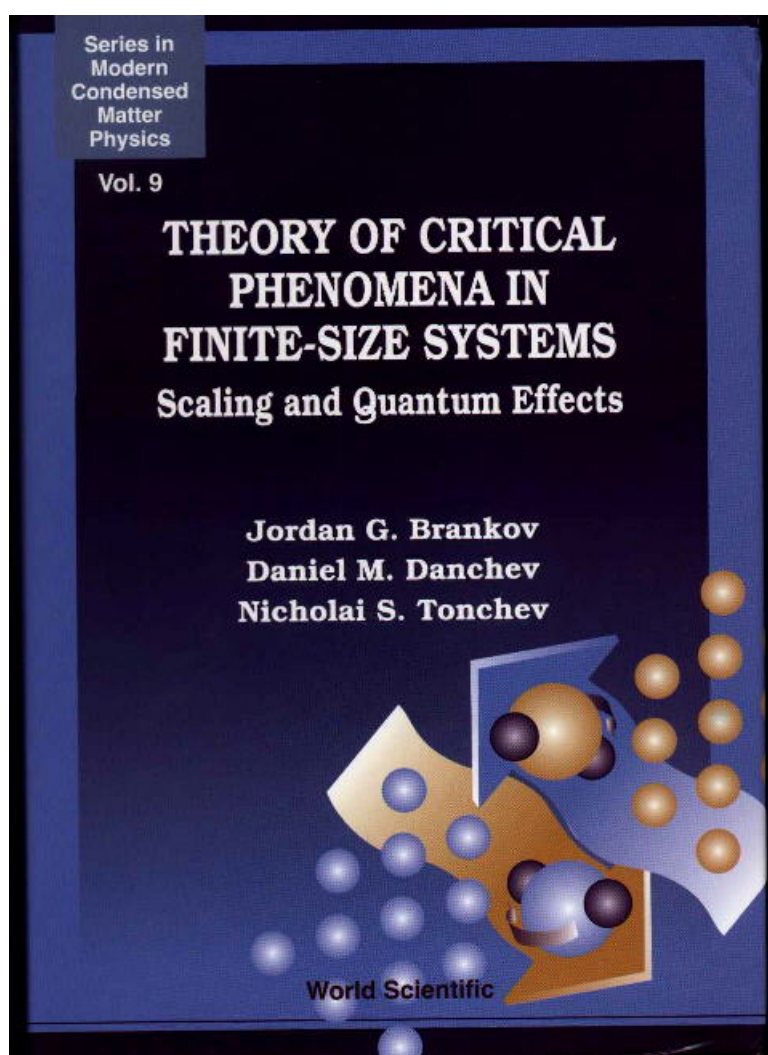
Прозорецът остава открехнат ... Погледнете! - сигурно ще има още какво да се види и направи. За добро! ...

Антония Пеева

ТЕОРИЯ НА КРИТИЧНИТЕ ЯВЛЕНИЯ В КРАЙНОМЕРНИ СИСТЕМИ: СКЕЙЛИНГ И КВАНТОВИ ЕФЕКТИ

(Jordan Brankov, Daniel Danchev, Nicholai Tonchev. **Theory of Critical Phenomena in Finite-Size Systems: Scaling and Quantum Effects.** *World Scientific*, 2000 Singapore · New Jersey · London · Hong Kong. (460 pp.)

ст.н.с. Михаил Бушев



В края на миналата година престижното издателство за научна литература *World Scientific* публикува на английски език книга под горното заглавие от тримата български специалисти, работещи в БАН. Книгата е предназначена за физици, интересувачи се от кондензирани среди и фазови преходи. Посветена е на една от най-

бързо развиващите се тематики в тези области - критични явления в крайномерни системи.

Крайномерни са всички ефекти, които зависят от геометрията на системите. Тези ефекти включват влиянието на границите върху обемните свойства, а също повърхностните ефекти (приносът на повърхността в термодинамичните свойства, измененията на корелациите в близост до повърхността, повърхностните неустойчивости). Във всички подобни случаи е от значение да се определи влиянието на граничните условия.

В крайните системи (напр. гранули) няма същински фазови преходи, тъй като такива могат да възникнат само в термодинамичната граница на безкраен обем. Тук флуктуациите са твърде важни, но не са в състояние да породят напълно развит критичен режим.

Симетрията не може да се изменя плавно - нея или я има, или я няма. Тя се изменя скокообразно. В природата обаче скоковете в състоянието нямат вид на математически стъпала. Скоковете в симетрията на системи от много частици - т.нар. фазови преходи от втори род, - минават през сложни процеси около точката на прехода с особено поведение на възприемчивостите, наречено критични явления. От края на 60-те години до началото на 80-те теорията на критичните явления претърпя внушително развитие, свързано с физическите идеи за мащабна инвариантност (скейлинг) и универсалност и с математическите методи на ренормгрупата. Значимостта на тези постижения за широк кръг изследователски и приложни области (не само във физиката, но и в много други науки) беше оценена бързо и през 1982 г. за създаването на теорията на критичните явления беше присъдена Нобелова награда на американския физик Кенет Уилсън (макар че има още много съществени приноси на други учени).

Както скейлингът (еднакво поведение на флуктуациите при всички пространствени мащаби), така и ренормгруповият подход (последователно осредняване по флуктуациите с растящи пространствени мащаби) в крайна сметка се опират на идеята за термодинамична граница: клонящи към безкрайност обем и брой на частиците при оставаща крайна плътност. Това на пръв поглед "невинно" условие влиза в очевидно противоречие с реалността - физическите системи, претърпяващи фазов преход, са крайни (това се отнася дори за инфлационния модел на Вселената, която след Големия взрив претърпява фазов преход, при който се нарушава симетрията на фундаменталните взаимодействия).

Крайността на системите силно усложнява описанието, защото налага да се отчита конкретната геометрия и граничните ефекти. Като знаем какви трудности преодолява теорията на безкрайните системи, можем да си представим колко усложнена е теорията на критичните явления в крайномерни системи. Това очевидно е твърде широка област на изследвания, в която се прилага и развива целият арсенал от методи, създадени за безкрайни среди (теорията на Ландау, скейлинговите закони, точно решаемите модели, числените методи и адаптираните ренормгрупови методи).

Именно такава трудна задача си поставят в разглежданата монография тримата български учени. При това трябва особено да подчертая, че това е първи по рода си в световната литература монографичен обзор на тази тема. Това проличава и от прецизно

и изчерпателно подбраната библиография, в която са отразени всички значителни постижения в областта.

Монографията се състои от кратък предговор, съдържание, 12 глави, библиография и предметен указател.

Първите три глави дават компактно и самозатворено изложение на основните опорни представи, понятия, методи, модели и резултати на теорията на критичните явления в безкрайни системи (системи, за които е валидна термодинамичната граница). Кратко е изложен методът на апроксимиращия хамилтониан, който позволява редица класически и квантови модели да бъдат решени точно в термодинамичната граница. Това е сериозна подготвителна стъпка към точно решавани крайномерни системи. Трябва да посоча, че двама от авторите (Й.Б. и Н.Т.) са съавтори в солидна монография, посветена на метода на апроксимиращия хамилтониан в статистическата физика (БАН, 1981 г.; на руски език). В гл. 3 се обсъждат два класа модели, сферичен и решетъчен, които са точно решавани за произволна размерност.

Следващите седем глави са посветени на същинската теория на критични явления в крайномерни системи, т.е. системи, които са крайни поне в едно от пространствените измерения. Основният въпрос е: ако за изцяло крайна система не е възможен фазов преход, как тогава експериментът за крайни обекти се съгласува - и то много добре - с теорията за безкрайни системи? Отговорът е, че макротелата в известен смисъл съответстват на термодинамичната граница. Именно това наблюдение позволява да се развие идеята за скейлинг в крайномерни системи. При осъществяването на тази идея авторите са извършили огромна работа, като са сумирали своите и чужди изследвания по един дълбоко премислен и подреден начин.

Убеден съм, че изложените от авторите методи ще намерят значително по-широки приложения. Доказателство за това са последните две глави (гл. 11 и 12) на монографията, където с известна изненада откриваме, че се обсъжда ефектът на Казимир. Изненадата иде оттам, че този ефект обикновено се свързва с поляризацията на вакуума на квантувани полета (ср. напр. авторитетната и излязла относително неотдавна руска *Физическая энциклопедия*, т. 5, М., 1998 г.). В действителност развитите флуктуации на параметъра на порядъка при фазов преход от втори род, когато системата е в близост до критичната точка, напълно повтарят флуктуациите на вакуума, водещи до възникването на ефекта. При това ролята на геометрията на физическата система в статистикомеханическият случай може да бъде отчетена именно въз основа на теорията на крайномерния скейлинг. Статистикомеханическият ефект на Казимир е обсъден за пръв път през 1978 г. (M. Fisher and P. de Gennes). Натрупан е голям теоретичен и експериментален материал, който авторите успешно “претопяват” и излагат по единен начин въз основа на развитите в предните глави методи. При това те и тук, както и в практически всички предишни глави, се придържат към правилото да обсъждат въпроси, по които поне един от тях има самостоятелни изследвания.

Книгата е издържана във всяко отношение на много високо равнище. Професионално изложените математически методи я правят полезно работно пособие за всички, които искат да навлязат в тази област. Убеден съм, че книгата ще намери не само международно признание (това е извън всяко съмнение), но даже и у нас (при условие обаче, че може да бъде намерена в основните ни библиотеки).

И завършвам с въпрос. Не е ли време скептиците спрямо Българска Академия на Науките да проумеят смисъла на многобройните международни публикации, чиито автори са сътрудници на БАН? И още един въпрос: не е ли тази книга още едно убедително доказателство, че в България може (и си струва!) да се работи?

София, март 2001 г.

90 ГОДИНИ ОТ РОЖДЕНИЕТО НА

ПРОФ. ТОДОР АНДРЕЕВ ВАСИЛЕВ

(1911-1984)

На 19.ІІ.2001 г. се навършват 90 години от рождението на проф. Тодор Андреев Василев – първият хабилитиран преподавател по физика в Пловдив, организатор на висшето образование по физика в Пловдивския университет, дългогодишен член на ръководството на СНР, клон Пловдив, и на Централното ръководство на СФБ, и председател на Пловдивския клон на СФБ.

Той е роден в гр. Смолян. Основното си образование завършва в родния си град, а гимназия – в Асеновград. В гимназията се откроява със своите способности по математика и затова съучениците му го наричат “Питагор”. След завършване на гимназията в началото на 1931 г. е назначен като волнонаемен учител. През същата 1931 г. се записва за студент по физика в Софийския университет, който завършва семестриално през 1935 г. След дипломирането си постъпва като редовен учител по физика в Панагюрище. До 1945 г. учителства в различни градове: Карлово, Шумен, Пловдив и София.

През 1945 г. Тодор Василев постъпва на работа в Софийския университет като редовен асистент в катедрата по “Обща физика” с ръководител проф. Георги Наджаков. През 1949-1950 г. е изпратен на специализация в Оптичния институт в Париж, където активно работи в областта на физичната оптика. През 1952 г. спечелва обявен конкурс и е назначен за редовен доцент по физика във Висшия институт по хранително-вкусова промишленост в Пловдив. Като доцент и ръководител на катедра “Физика” във ВИХВП той работи до 1961 г. През същия период, от 1955 г. до 1958 г., е зам.-ректор на ВИХВП.

През 1961 г. като доцент Т. Василев преминава в новооткрития Висш природоматематически институт, сегашния Пловдивски университет. Той е един от създателите и строителите на новия институт, пръв заместник ректор на института, създател на специалност “Физика”, ръководител на катедра “Обща физика” и временен ръководител на редица други катедри. След създаването на Физическия факултет през 1974 г. е негов пръв декан. През целия този период проф. Т. Василев полага изключителни усилия и проявява богат организационен опит за изграждане на структурите на Университета, на специалност “Физика” и на Физическия факултет. Под негово научно ръководство израстват и се утвърждават много научни и преподавателски кадри във ФФ на ПУ.

Разностранны са неговите научни интереси. Научното му творчество е събрано в над 100 публикации от различни области на физиката – физическа и геометрична оптика, ядрена физика и магнитостатика, електрети и физика на полимерите. Може да се смята за създател и ръководител на първата група в областта на физиката на полимерите. Проф. Василев активно се занимава с учебно-методична дейност, като още през 1945 г., съвместно с проф. Г. Наджаков и проф. Саздо Иванов, написват Учебник по физика за XI клас. Пет години по-късно заедно с Олга Тасева и Стефан Карамихов издават

ръководство за провеждане на демонстрационни опити по физика. Съавтор е на експериментален учебник по физика за XI клас на базовите общообразователни училища. Има издадени учебници по всички раздели на курса по Обща физика.

Като учен, преподавател, администратор и общественик проф. Василев се е отличавал със своята скромност, научна ерудиция и голяма човечност, рядко действа по правилата на формализма. Всепризнат авторитет сред националната физическа колегия, той никога, никъде и за нищо не се натрапва, с което печели голямото уважение на своите ученици и колеги. Затова е наречен “Баща на пловдивската физика”.

Доц. д-р Г. Мекишев,

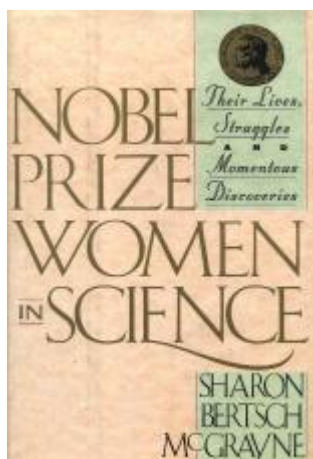
Декан на ФФ на ПУ, Председател на СФБ – клон Пловдив

МАРИЯ ГЪОПЕРТ МАЙЕР

(28 юни 1906 - 20 февруари 1972)

Шерън Бърч Мак-Грейн

(От книгата "Жени - нобелистки в науката")*



"Никога не бъди просто жена" - настоявал баща ѝ. Мария го разбрала съвсем точно. Някоя, която "е просто жена" е домакиня, която се интересува само от своите деца. *"Това не му харесваше"* - обяснява самата тя по-късно. "Баща ми винаги казваше, че е трябвало да бъда момче".

За да следва стъпките на баща си, тя се готвела като седмо поколение учен и професор от фамилията Гьоперт. За да постигне това Мария Гьоперт Майер слива в една кариера и доброволна работа, уникална в анализите на Нобеловата награда. Като цяло за 30 години тя работи на доброволни начала в 3 различни области в 3 американски университета. Преподава, консултира абсолвенти, участва в университетски комисии и публикува статии - но не получава университетска заплата 10 години след приключване на работата, за която е удостоена с Нобеловата награда.

Мария Гертруд Кете Гьоперт е единственото дете на Фридрих и Мария Волф Гьоперт. Родена е на 28 юни 1906 г. в Катовице, Горна Силезия, тогава част от Германия, а сега в Полша. Когато била на 4 години семейството се премества в малкото университетско градче Гьотинген в централна Германия. Гьотинген се отнасял към Мария като към малка принцеса; както самият град така и университетът повлияли силно върху нейният живот.

Фридрих Гьоперт бил професор по педиатрия в университета. Той ръководел също и детската болница, основал и дневен център за деца на работещи майки. Като професор в германски университет той заемал много престижно положение. Немските професори били поставени финансово наравно с преуспяващите американски лекари, адвокати и бизнесмени. В социално отношение те били изравнени с правителствените служители с висок ранг. Когато госпожа Гьоперт пазарувала, най-напред обслужвали нея, освен ако не присъствала и друга, по-забележителна от нея, "г-жа професорша". Гьотингенският

социален живот се въртял около приеми, организирани от професорските съпруги, а децата им, които растели в такава атмосфера, наследили тези традиции. Съревнованието за водеща домакиня в Гьотинген било ожесточено, но приемите на фрау Гьоперт наложили стандарта за гостоприемство. На нейните приеми всички стаи на дома се отваряли за гости. Когато в полунощ оркестърът преставал да свири, тя акомпанирала с пианото на пеещите до сутринта. Когато купувала коледно дърво, а после откривала някъде по-високо, тя замествала купеното с по-доброто.

Въпреки че фрау Гьоперт уреждала забавленията на дъщеря си по майчински стандарти, бащата на Мария бил предпочитаният родител. *"Той беше преди всичко учен"* - казва тя. Наричала го нежен мечок, защото обожавал децата и те го следвали из улиците. Той водел дъщеря си на научни разходки да търсят вкаменелости и да изучават горската растителност. Когато Мария била на три години и половина, го попитала и получила прецизно описание на полумесеца; на седем годишна възраст тя получила тъмни лещи за наблюдаване на слънчевото затъмнение.

Като педиатър проф. Гьоперт искал децата да бъдат смели и със самочувствие. Той бил прочут с това, че вдигал малките си пациенти от леглото още на следващия ден след операцията, докато по това време други доктори ги оставяли на легло със седмици. Смятал, че майките са естествените врагове на децата си: жените задушават любознателността и предприемчивостта им. Когато Мария се катерела по дърветата, бащата отправял фрау Гьоперт, за да не може тя да удържа духа на дъщеря им. Като единствено дете Мария била слабичка и бледа с почти прозрачна кожа. Тя страдала от често и досадно главоболие през целия си живот, но баща ѝ бил казал: *"Направили сме всичко, което можахме против това. Ти можеш да бъдеш инвалид или да го игнорираш и да правиш най-доброто, което можеш в това състояние"*. Мария решила да игнорира главоболията си.



Мария Гьоперт Майер

На 8-ия ѝ рожден ден през 1914 г. бил убит австрийския престолонаследник Фердинанд. Започнала Първата световна война. Към края на войната и по време на

последвалата инфлация семейство Гьоперт вечеряло със супа от корени и свински уши, за да икономисва храна за децата от клиниката на д-р Гьоперт. Една благотворителна квакерска организация осигурявала топъл обяд на децата в училището, където учела Мария, но когато един репортер от *"Ню-Йорк Таймс"* написал, че *"самият професор, който храни децата, страда от недохранване"*, от САЩ се изсипали колети с храна. Мария била вече в края на девическите си години, когато условията почти се нормализирали и г-жа Гьоперт подновила своите забави. Мария често споделяла огорчението си от следвоенното предаване на Горна Силезия на Полша.

"Когато пораснах - разказва по-късно тя, нямаше никакво съмнение за родителите ми и за мен, че трябва да уча в университета ... От много малка знаех, че когато порасна ще получа някакво образование, което да ми дава възможност да се издържа сама и да не завися от брака". Но получаването на достатъчна подготовка за сериозните приемни изпити в университета изглеждало невъзможно. През 1924 г. в Гьотинген имало две големи училища, които подготвяли стотици момчета за университета, докато за момичета нямало нищо подобно. В продължение на няколко години Мария посещавала малко частно училище, издържано от феминистки, но когато то било закрито поради следвоенната инфлация, тя решила да се яви на университетските изпити една година по-рано. Бившите ѝ учителки били ужасени. *"Ти не можеш да издържиш изпитите, а си и твърде млада. Няма да те допуснат"* - предупреждавали я те. *"Въпреки това ще опитам!"* - заявила тя твърдо. И се борила, докато я допуснали до изпитите.

Тя и още четири момичета от същото училище се явили и издържали изпита. *"Представяте ли си - пет момичета се състезаваха със стотици момчета!"* - казва по-късно засегнатата Мария. Когато постъпва в Гьотингенския университет през 1924 г., за да следва математика, само в няколко от 10-те университета в Германия има жени-студентки, докато по същото време в САЩ на трима студенти мъже се пада приблизително по една жена-студентка.

Мария Гьоперт посещава Гьотингенския университет на върха на престижа му по математика и физика и тя става лична приятелка с много от неговите водещи звезди. Наставникът на Еми Ньотер проф. Давид Хилберт бил почитан като най-великия математик след Карл Фридрих Гаус и най-великия геометър след Евклид. Прочутата градина на Хилберт с нейната дълга черна дъска с капаци, където се провеждали семинарите на открито, граничела с двора на семейство Гьоперт. Хилберт винаги канел своята млада приятелка да слуша публичните му лекции, които изнасял всяка събота сутрин. Една събота, когато Хилберт бил добре настроен към дамите, поканил Мария да го замести. Като уредила отсъствието се от училище, тя се явила на семинара и изложила своя пръв възглед по атомна физика.

Двама от водещите физици в Гьотинген - Макс Борн и Джеймс Франк останали почитатели на Мария до края на живота си. Борн я ценял като дъщеря, а Франк я смятал *"поне за племенница"*. Благодарение на тях повечето европейски и американски физици от средата на 20-те и началото на 30-те години, които работели по проблеми на квантовата механика, посещавали Гьотинген. Мария завързала с много от тях приятелства, запазили се до края на живота ѝ. Така и самата тя израства като една от първите физици, занимаващи с тази проблематика.

"Мария беше хубаво и живо младо момиче и когато се появи в моя клас, аз бях доста удивен - пише Макс Борн. - Тя изслуша целия ми курс със страхотна упоритост и съпричастност, като в същото време оставаше весел и мъдър член на Гьотингенското общество, обичащо забавите, смеха, танците и шегите. Ние станахме големи приятели." Още преди Мария да се присъедини към неговия семинар, Борн я помолил да придружава него и студентите му при разходките по хълмистите околности на Гьотинген и до близките селски гостилници за вечеря. Случайно или не, станало очевидно, че тя е любимата студентка на Борн, а слуховете в малкото градче Гьотинген, все още не привикнало към жените-студентки, разнасяло, че между Мария и нейния женен професор има нещо повече от наука ...

Мария Гьоперт постъпва в университета, надявайки се да учи математика, но първото ѝ докосване до квантовата механика я превръща във физичка. *"Беше чудесно. Харесвах математиката в нея ... Математиката започна да ми прилича на решаване на загадка ... Физиката също е решаване на загадка, но създадена от природата, а не от човешкия ум ... Физиката беше предизвикателство. Нещо повече: квантовата механика беше млада и вълнуваща!"* - отбелязва тя.

По това време духът на Гьотинген е бил много по-различен от всякъде другаде. Франк и Борн водели общ семинар, където на участниците било позволено да прекъсват говорещия и да го критикуват безпощадно. Един приятел на Мария от класа на Хайзенберг (един от създателите на квантовата механика) споделил с нея: *"Това е много вълнуващо - Хайзенберг ни разказва за какво е мислил миналата нощ!"*. Студентите на Борн понякога го обърквали, но той не се плашел от това. Бил уверен, че неговия теоретичен семинар е привлякъл *"най-брилянтното общество от млади таланти, които можело да се намерят някога"*. Сред тях блестели звездите на Пол Дирак от Англия, Роберт Опънхаймър от САЩ, Енрико Ферми от Италия, Еужен Вигнер и Джон фон Нойман от Унгария. Харвардският вундеркинд Опънхаймър прекъсвал толкова често Борн, че Мария организирала студентска петиция, в която се изисквало да пази тишина. Бележката била закачена на място, където Опънхаймър можел да я прочете, и всички с облекчение отбелязали че прекъсванията престанали. *"А аз се боях, че той ще протестира"* - учудил се Борн.



Мария Гьоперт Майер със своя ръководител Макс Борн.

Мария често имала по две вечери на ден - веднъж у дома с майка си и втори път с приятели в града, така че да може да разговаря с тях за квантовата механика. Най-близки нейни приятели били състудентите ѝ Виктор Вайскопф и Макс Делбрук, който по-късно става асистент на Лизе Майтнер в Берлин. Както обяснява Вайскопф, един от знаменитите мъже на съвременната физика: *"Ние и двамата бяхме студенти на Макс Борн и работехме върху доста сходни проблеми. А ако трябва да кажа нещо малко лично, това е че се влюбих в нея"*. А Делбрук пропуснал последния си изпит по физика, объркал научните области и ... станал първия водещ молекулярен биолог. Други приятели на Мария от това време, станали по-късно научни светила, били Лайнъс Полинг, Лео Силард и Артър Комптън. Както отбелязва самата Мария Гьоперт: *"Трябва да призная, че никога не съм общувала много с жени. Винаги бях с момчетата и, както разбирате, това беше много забавно"*.

Когато през 1927 г. починал професор Гьоперт, съпругата му, по приетия в Гьотинген обичай, се пренесла в студентските общежития. Един ден Йозеф Майер, привлекателен калифорниец, дошъл в Гьотинген да изучава квантова механика при Джеймс Франк, почукал на вратата на г-жа Гьоперт и помолил за стая под наем. *"При моята молба камериерката доведе красиво малко русо момиченце, което въпреки очевидната си привлекателност ме раздразни като засегна болезнено слабия ми немски и разговаря с мен на безупречен кеймбриджски английски - разказва Джо. Скоро открих, че освен красотата и лингвистическите си умения тя е и студентка на Макс Борн"*.

Джо бил зашеметен. *"Беше жесток флирт"*, признава той. Тя обичала да кара ски, да плува, да играе тенис и искала да ходи на танци почти всяка вечер. Според Джо *"тя не правеше добре никое от тези неща, но беше удоволствие да си с нея"*. Дребна и слаба, с руси коси и сини очи, Мария Гьоперт била наричана *"красавицата на Гьотинген"*. Мъжете-учени откривали в нея прекрасна смесица на интелигентност и женственост. *"Тя беше олицетворение на женственост, споделя по-късно дъщеря ѝ Мариане Венцел. Повечето от нейните колеги не бяха срещали жена, която да е интелигентна като тях, а същевременно да бъде определено жена - непобедима комбинация"*. *"Аз изобицо не бях красива- казва Мария. Гьотинген беше класическо университетско градче, където дъщерите на професорите бяха елитът на обществото и бяха ужасно глезени и известни"*.

Обаче Вики Вайскопф и Джо Майер не са единствените младежи, заслепени от нея. *"Всеки, който се настаняваше в онази къща, беше завладяван от нея и половината от момчетата ѝ направиха предложение - казва Робърт Сакс, който ѝ станал студент в САЩ. И друг неин американски квартирант признава: "Ние всички бяхме влюбени в нея, но аз никога не ѝ казах нито дума. Дори не знаех, че тя говори такъв превъзходен английски"*. Години по-късно американският нобелов лауреат Робърт Мъликън, който навремето също бил настанен у Гьоперт, се чудел: *"Какво ли би станало ако се бях оженил за Мария Гьоперт?"*. *"Мъжете се влюбваха в нея непрекъснато. Това не беше важно за нея. Винаги ми изглеждаше толкова вълнуващо, че може да върти мъжете около пръстта си"* - казва дъщеря ѝ Мариане. Това нейно умение доказва полезността си с напредването на годините.

Джо Майер бил загорял рижав калифорниец от епохата на джаза, завършил Калифорнийския технологичен институт и защитил докторат в Калифорнийския

университет в Бъркли. Той бил собственик на верига пицарии и можел страстно да спори почти по всички теми. Като дете на "гневните 20-те години" и "сухия режим", веднага след пристигането си в Гьотинген той уредил доставка на уиски и джин. В един град, където Ферми се чувствал като милионер, понеже притежавал колело, Джо купувал конвертируема стока в брой. Мълвата разказва, че Мария избрала Джо сред всичките си поклонници, защото притежавал лека кола. Обаче Джо имал и друго предимство: като бащата на Мария той искал Мария да стане професор.

Когато Джо и Мария се сгодили, тя мислела да скъса с физиката, но той я убедил да продължи. Бил по-голям феминист от нея. По време на брака им, а и след това до края на живота ѝ, по-известният от двамата Джо подтиквал, насъсквал, подлъгвал и подържал Мария да продължава изследванията си по физика.

Онази есен, докато тя отлагала своята дисертация, той я завел в Холандия на посещение при физика Паул Еренфест - един от най-близките приятели на Алберт Айнщайн. Еренфест и неговата заможна руска съпруга били построили чудесна къща точно преди болшевишката революция, но останали без пари за украсата на стените ѝ. Затова Еренфест закачил на стената на гостната джобния си часовник и предлагал на гостите си да се подписват по стените. По време на посещението Мария Майер бърбрела щастливо за своята дисертация, докато Еренфест не я прекъснал внезапно: *"Говорихте достатъчно, сега пишете"* и я заключил в гостната. *"И не се появявайте без конспект!"*

"Беше една чудесна стая със стена, покрита с най-голямата колекция детективски романи, които някога бях виждала, а другите стени бяха покрити с автографи на прочути учени" - си спомня тя. *"Автографът на Айнщайн беше над леглото ми. Реших проблема си за един час и това беше основата на докторската ми дисертация"*. След това и тя се подписала на стената и си тръгнала.

Джо настоявал Мария да завърши дисертацията си. Денят след Коледа бил свободен за прислужницата и Мария решила сама да сготви изискан обяд от еленово филе с подправки. Джо, който знаел да готви, разбрал, че Мария няма да може да се справи. Изчаквайки тя съвсем да се обърка, Джо предложил сделка: *"Ако ти продължиш с науката, аз ще ти бъда гувернантка завинаги. Ако спреш, ще трябва да се научиш сама да готвиш. Аз няма да съм в състояние да си позволя прислужница"*.



Мария Гьоперт Майер с Джоузеф Майер около времето, когато са се оженили.

Те се били оженили на 18 януари 1930 г., а през март тя завършила дисертацията си и издържала последните изпити. Трима нобелови лауреати заседавали в изпитната комисия. Тя била изчислила вероятността, когато един електрон обикаля около ядрото да отдели не един, а два фотона, когато прескача от една орбита на друга. Еужен Вигнер, който по-късно поделя Нобеловата награда по физика с Мария, нарекъл нейната дисертация *"шедъвър на яснотата и конкретността"*. Нейният извод бил потвърден през 1960 г. от експерименти с лазери и продължава да се цитира в публикации по оптика и молекулярна физика. На този неин принос са отделени 8 страници в книгата по квантова механика на Нилс Бор и Паскуал Джордан.

"Когато Джо и Мария напуснаха Гьотинген, тя имаше повече първокласни покровители от всекиго, когато съм познавал - казва Боб Сакс. - И Дейвид Хилберт, и

Джеймс Франк, и Макс Борн, и Карл Херцфелд бяха нейни ентусиазирани привърженици. Тя имаше огромно количество поддръжници и всички ѝ помагаша". Тя щеше да има нужда от всички тях.

Пристигнали в САЩ на 1 април 1930 г. - "Денят на глупците" и заминали за Балтимор, Мериленд, където Джо имал асистентско място в университета Джон Хопкинс. Мария обичала Балтимор през целия си живот и често казвала, че десетте години, прекарани там, са били най-щастливите за нея. Огорчението дошло едва в края на престоят.

Отначало обаче тя изпитвала носталгия. Америка ѝ се струвала дива и обърквана. Когато по време на сухия режим си поръчвала вино в ресторанта, то ѝ било поднасяно прикрито в каничка за кафе. Един ден, когато на адреса на Джо пристигнал голям дървен сандък от немски производител на оръжие, Мария си помислила най-лошото: *"Боже мой, той и с оръжие ли търгува? Да не е гангстер!"*. Но отговорът му бил обезоръжаващ: *"О, най-после! Пристигнали са ножчетата за самообръсначки ... "*. Но тя постепенно свикнала с американския начин на живот, често пишела и телеграфирала на майка си и прекарала първите четири лета в Европа. В началото на 30-те години университетът в Мичиган провеждал летни школи в Ан Арбър, за да се преподава "европейска квантова механика" на американските физици. Нейните стари приятели Ферми и Еренфест седели на първия ред всеки на лекцията на другия, като с ликуване се коригирали взаимно за недобрия английски език. Толкова много от посетителите говорили немски, че Мария съжалила американците. Следващите три лета тя се връщала в Гьотинген да работи с Макс Борн. Златната младост на Мария в Гьотинген я убедила, че тя може да има всичко: деца, преситен социален живот като майка си и кариера като баща си. Джо бил съгласен. Той преценил, че една работеща майка с наемна помощница би се справила с домакинските дела без усилие за 2 часа дневно. Социалният дял от уравнието било забавленията в Балтимор. Семейство Майер плували из залива Чесапийк, изкачвали се по хълмовете на Мериленд и смисляли достатъчно количество грозде в старата перална машина, за да напълнят 100-литровото буре с вино. Една преподавателска съпруга забелязала дразнеща дреболия: *"Когато имаше парти, мъжете се скупчваха около Мария"*. А когато един невинен млад учен я попитал как да постигне нейния грациозен житейски стил с една академична заплата, Мария простичко го посъветвала: *"Простирай се не според чергата си!"*.



Мария Гьоперт Майер с дъщеря си Мариане в средата на 30-те години

Когато се родили дъщеря ѝ Мариане през 1933 г. и синът ѝ Петер през 1938 г. животът ѝ станал по-сложен. Мария Майер признавала: *"Никога не преставах да чувствам вина при мисълта, че би трябвало да съм си у дома повече време. Мариане и Петер са чудесни, но аз винаги ще мисля, че им липсва нещо ... Комбинацията от деца и професионална работа не е съвсем лесна. Има една емоционална струна, която се дължи на противопоставянето на предаността към науката и към децата, които преди всичко се нуждаят от майка. Аз преживях този драматичен опит изцяло"*. Джо все още настоявал тя да продължава заниманията си с наука, а и тя знаела, че ако се откаже, ще бъде нещастна.

Най-голямото от всички унижения било професионалното. Мария Майер искала да бъде от най-добрите световни физици, не просто една от най-добрите жени-физички. Гьотингенските ѝ постижения показвали, че може да се задържи на върха и сама. Но за нея да бъдеш пръв учен "не означавало да правиш наука у дома", отбелязва нейният приятел и сътрудник Якоб Бигелайзен. *"За нея беше важно да прави наука в кабинета, защото това беше показател за статут на професор"*.

Тя разбирала, че никога няма да направи университетска кариера в Германия. Еми Ньотер, Лизе Майтнер или приятелката ѝ Херта Спунер - никоя от тях не станала редовен професор в Германия. И тя помислила, че Америка може да е различна. През 20-те години жени получили 15 % от всички докторски степени в Америка. Самият университет "Джон Хопкинс" бил прочут със смесеното си медицинско училище, въпреки че университетският правилник твърдо се противопоставял на допускането на жени като редовни студентки. В "Джон Хопкинс" дори били избрани 2 жени за професори - по психология и по образование, области, които по това време били популярни сред жените; даже едната от тях била ръководител на катедра.

Но семейство Майер не било предвидило голямата икономическа депресия, обхванала САЩ по онова време. Скоро Мария разбрала, че никой университет нямало да даде платен пост на съпруга на професор. В "Джон Хопкинс", както и в повечето

американски колежи и университети, имало строги правила против семействеността, забраняващи заетостта на роднини (главно съпруги) на университетска работа. Правилата често се представяли като резултат от Депресията, когато обществеността се противопоставяла да бъде плащано на двама в едно семейство. Но практиката, започнала през втората половина на 20-те години, продължила и далеч след нея - до началото на 60-те години. Тези правила оковали семейството на Мария Майер за десетилетия.

В "Джон Хопкинс" я обкичвали с букет от титли като "преподавател с любезно ръзрешение", "асистент-доброволец", "сътрудник-изследовател" и др. Тя никога не била вписана в указателя на университета в списъка на 20-те или 30-те мъже научни сътрудници. Когато Майер попитала дали може да използва свободен кабинет на главния етаж, я пратили на тавана.

"Така аз работих години наред без заплащане, само за удоволствието да се занимавам с физика" - обяснява Мария. За да поддържа уменията си в готовност, в случай че ѝ се наложи сама да изкарва прехраната си. "Ние причислихме допълнителните разходи за часово поддържане на домакинството към застраховката ... застраховка в случай на смърт на съпруга ми ... Аз усетих обидата много рано, затова просто се научих и да не бия на очи. Никога не молах за нищо, никога не се оплаквах".

Тя не позволявала и на Джо да се оплаква. Знаела, че е добра и не харесвала да е ядосана. Забавлявала се с физика, имала добър съпруг, две деца прекрасен дом и приятели. *"Не се чувствах ни най-малко засегната. Ако се наложеше, бях готова да се боря, но това, което исках, беше само да уча, да преподавам, да работя ..." - споделя Мария.*

Любопитно е, че за университета "Джон Хопкинс" нуждата от експерт по квантова механика не било по-голяма отколкото от жена-физичка. През 30-те години американските физици-теоретици изоставали много от европейските си колеги. Те били ориентирани към класическата механика на 19-ти век и инженерните ѝ приложения и не се интересували особено от новата квантова механика и теорията на елементарните частици.

За щастие този университет приличал на Гьотинген в едно жизнено важно отношение. Сътрудничеството между физици, химици и математици било необичайно близко и Мария могла да свърже една изследователска програма от сходни дисциплини. Тя написала 10 доклада и един учебник за 9 години работа в университета и това Джо нарекъл гордо *"значително късче научна продукция"*. Тя работела с Джо и един любезен австриец - Карл Херцферд, евреин по произход и ревностен католик. Въпреки че физиката в университета била изключително експериментална, Херцфелд бил изявен теоретик, а пък Макс Борн го бил помолил да се грижи за Мария, което той правел. Тъй като Херцфелд се интересувал от физико-химия, а и Джо бил химик, Мария започнала да прилага квантовата механика към химически проблеми, като например за структурата на органични смеси.

Квантовата механика току що била започнала да оказва силно влияние върху химията и обхвата на съществуващите проблеми бил широк, дълбок и очевидно безграничен. Един от нейните доклади, написан съвместно с абсолвента Алфред Склер, бил крайъгълен камък в квантовата химия. Херцфелд ѝ плащал 200 долара за помощта, която

тя му оказвала за немската кореспонденция, а Мария и Джо написали книгата "Статистическа механика" като популярен учебник по химия за молекулярни системи, който в различни издания се преподавал в продължение на близо половин век.

Когато в Германия на власт дошъл Адолф Хитлер, старият приятел на семейство Майер Джеймс Франк емигрирал в САЩ и бил приет на работа в университета "Джон Хопкинс". Мария му намерила къща в заможния квартал Роланд парк. Присъствието на Франк в Балтимор превърнало университета в световен притегателен център по атомна физика и Мария започнала да се чувства като в Гьотинген. По това време Мериленд бил изключително антисемитски щат. По плажовете имало табели с надписи "Забранено за евреи", а Роланд парк налагал строги имуществени клаузи срещу продажбата на къщи на евреи. Предвкушвайки перспективата да си направи шега с балтиморските сноби, Мария Майер подписала договора на Франк за собственост като негов пълномощник, въпреки че договорът съдържал клауза против продажбата на евреи.

Оттогава университетските власти започнали да се отнасят към Мария с по-голямо внимание. Тя имала приятен кабинет във Физическия факултет, преподавала и ръководела докторската дисертация на своя студент Боб Сакс. Но все още нямала нито щатна работа, нито получавала заплата. Херцфелд помолил декана да постави името на Мария върху бланката на факултета. Деканът толкова се ядосал, че изхвърлил всички имена освен собствено си име от бланката, разказва Мария. Оскърбеният Херцфелд пише до президента на университета: *"Д-р Гьоперт-Майер върши поне 1/3 от работата на щатен сътрудник, като едновременно преподава и се занимава с изследователска дейност ... Както често се случва с жените, тя не пише сама докладите, но винаги има приноси в получаването на резултатите. Не един път се е случвало да не мога да продължа, докато тя не намери изхода. Нейният ум е наистина брилянтен и проникателен, макар да не блести с голяма оригиналност. Адекватното парично възнаграждение за нея би било около 1000 долара."* Разбира се, не последвала никаква реакция.

Въпреки романтичната представа на студентите за Джо и Мария, повечето от тях били объркани от прекомерно техничния и силно синтезирания ѝ лекторски стил и математическата ѝ виртуозност. Самоуверената госпожица от Гьотинген се превръщала в срамежлива дама пред чужденците. *"Тя беше уверена само сред добре познати хора"* - споделя Сакс. Неудобството при лекциите ѝ било, че говорела много бързо, тихо, с прекъснати, недовършени изречения. И за успокояване на нервите, пушела цигара след цигара.

Обаче силни студенти като Джон Уилър и Боб Сакс били вдъхновени. Тя била една от любимите преподаватели на Уилър, станал по-късно един от забележителните професори в Принстън, Ню-Джързи и Тексас. Харесвал тихата ѝ твърдост, неспособността ѝ да оставя проблема неизяснен и характерното ѝ повишаване на интонацията в края на изречението. Сакс си спомня, че когато я попитал за основната тема на тогавашните изследвания, тя твърдо заявила: *"Всеки млад човек, който започва да се занимава с теоретична физика, трябва да работи в областта на атомната физика, защото там днес се случват всички вълнуващи неща"*. В забележителна серия от събития от началото на 30-те години били открити неутронът, позитронът, деутронът, изкуствената радиоактивност, построен бил ускорителят на елементарни частици. *"Уилър е човек, който е пътувал до Арктика, прекосявал е Сахара с керван,*

участвал е в експедиции по планинско катерене. Но сега се е отдал на теоретичната физика, защото там са вълненията" - аргументирала се тя.

Но самата тя не била все още много отдадена на атомната физика и предложила на Сакс: *"Ще заминем за Вашингтон, за да се видим с Едуард Телер. Той ще ни каже какво трябва да правим"*. Телер, подобно на Мария бил емигрирал от Европа през средата на 30-те години и се бил установил като професор в университета "Джордж Вашингтон" в столицата на САЩ. Мария обичала да говори за физика със своя приятел от Гьотинген. В отговор той й бил написал рекорден брой писма, в които се смесвали лични откровения и научни проблеми. След войната Телер ще стане (оспорваният) баща на американската водородна бомба и вдъхновителят на Междувездните войни. След срещата с Телер, Мария и Сакс публикували съвместна статия по физика на атомното ядро, която била първата в тази област преди откриването на слоистата структура на ядрото след близо 15 години. *"Мария беше ненапратлива, но "навита" личност. Беше много срамежлива и понякога шепнеше много бързо. Беше ясно, че тя иска да намери решението на проблема. Беше много непредсказуема в държанието си, но и невероятно конкурентноспособна"* - си спомня Сакс.

Сакс отбелязва и още нещо: *"Тя не беше много чувствителна в ранния етап на усложненията, които се случваха в Германия. Преди Борн да напусне Германия, тя искаше аз да отида да работя с него в Гьотинген"*. Сакс обаче бил евреин и не мислел да отива в Германия през онези времена. Предвоенните години били трудни за Мария и много от американците от немски произход, които се гордеели с родната си култура. *"Тя беше твърда привърженица на прусаците и се гордееше с тяхното наследство. Тя и Джо здраво се бореха за немския начин да се върши работата. В ранните дни на нацисткия режим тя силно вярваше, че тогавашния председател на Райхстага Херман Гьоринг ще бъде спасителят, който ще постави в ред държавата, след като остави Хитлер да изчисти "бъркотията"*. Тя беше типичен представител на висшата класа германци, които се доверяваха на Гьоринг. Чувал съм я да казва *"Аз имах много по-различен поглед"*. Както се оказало, Сакс бил прав. Гьоринг бил един от най-лоялните Хитлерови привърженици и пръв архитект на нацистката полицейска държава и нейната военна мощ.

С напредването на годините и превземането на Германия от нацистите, депресията на Мария нараствала. Още като студент Вайскопф я бил чувал да осъжда нацисткото влияние в студентските организации. По време на летните й посещения в Гьотинген в началото на 30-те години тя била ужасена от разрушаването на интелектуалния живот в градчето. Когато правителствената охрана я поздравявала с "Хайл Хитлер", тя отговаряла с "Добро утро".

През 1933 г. Мария Майер получила американско гражданство и заедно с Херцфелд станала временен пазител на фонда, създаден от немските професори в САЩ, които заделяли част от своите заплати в помощ на германските бежанци. Тя отворила дома си за няколко изгнаници и подписала клетвени декларации за други. Независимо от това, старите чувства умирали трудно и през 1940 г., когато Сакс я срещнал след падането на Париж, тя била разкъсана между гордостта от бързата победа и ужаса от нейната агресия.

През 1938 г., когато Мария била бременна с Петер, уволнили Джо от университета. Както разказва Мария, президентът на "Хопкинс" Исаия Боумън решил, че може да реши

бедственото финансово положение на университета, като се освободи от най-добрите - и затова най-скъпо платени преподаватели, - и ги замени с млади на тройно по-ниска заплата. По това време много университети, в това число и "Хопкинс", не давали старши преподавателски места след седемгодишна заетост. Въпреки че Джо по никакъв начин не се смятал за старши, той бил изхвърлен по време на чистката. *"Моето мнение е, че администрацията имаше предразсъдъци срещу комунистите, евреите, католиците, срещу жените и чужденците"* - заявява Сакс. В процеса на прочистване на атмосферата и балансиране на бюджета "Хопкинс" загубил почти дузина от водещите си световни учени и сред тях Джо и Мария Майер. А според семейство Майер, Доналд Ендрюс, който оглавявал Химическия факултет на университета завиждал на Джо за впечатляващо успешната теория на кондензацията. В кратко 15-минутно интервю Ендрюс казал на Джо, че договорът му няма да бъде подновен, защото той не привлича достатъчно количество дипломанти. Мария, която ненавиждала администрацията на "Хопкинс", заявява: *"Сигурна съм, че Джо беше уволнен през 1939 г. от управата на университета отчасти и заради това, че аз бях около него и представлявах някакъв проблем. След тази история бях много предпазлива"*. А дъщеря ѝ Мариане обяснява: *"Ако използвам нейния израз, тя почувствала че трябва да бъде "дама". Тя винаги беше нащрек за държанието си, защото не искаше да я обвиняват че е посредствена или дразнеща жена. Беше абсолютно честна и ако някой друг свършваше някаква работа, тя винаги му позволяваше той да публикува пръв, а тя публикуваше своите допълнения след това"*. От друга страна, тя никога не е била особено дисциплинирана. И в някакъв смисъл Мария била права. Малкият и оредял кръг от първокласни учени - единствените хора, които я интересували - я обожавали. Само аутсайдери като Ендрюс не го правели. Всъщност преживяното от Джо в "Хопкинс" наранило Мария повече от самия него. Той получил назначение в Колумбийския университет с двойно по-висока заплата, а негов покровител бил Харолд Юри, Нобелов лауреат за 1934 г. по химия за откриването на деутерия и тежката вода. Както винаги дотогава семейството му го последвало, но годините прекарани в Колумбийския университет били сред най-трудните в живота на Мария, въпреки че я утвърдили в очите на колегите ѝ като напълно способен и равностоен физик-професионалист. *"Няма съмнение, че тя искаше да завоюва собственото си място и име и да се съревновава с най-първите хора в теоретичната физика в света. Мария искаше да се отличи като един от първите учени в света"* - разказва Бигелън, който ѝ сътрудничи в университета.

Тя кандидатства за работа във физическия факултет. Неговият декан Джордж В. Пеграм се отнасял студено към нея. Предоставил ѝ кабинет, но дал да се разбере, че не е добре дошла. Оттогава Мария го ненавиждала. След войната тя дори отказва да публикува изследванията си от военно време в Колумбийския университет, за да се разграничи от него. *"Само през трупа ми! Тези доклади могат да изгният в ада, преди да помоля Пеграм за нещо"* - избухнала тя, въпреки че след време ги публикувала, без да спомене за Колумбия. Нейният биограф Джоан Даш казва, че Мария Майер притежавала невероятно самообладание и никога не се ядосвала, дъщеря ѝ Мариане казва, че майка ѝ само създавала такова впечатление; сред приятели тя избухвала като истински вулкан.

Управителното тяло на Колумбийския университет отказало да ѝ даде титла, която да бъде поставена на корицата на книгата им (съвместно с Джо) "Статистическа физика". Според мнение, разпространявано сред научната общност, Мария била само помощник редактор на Джо, а не негов съавтор. Само деканът на химическия факултет Юри я

ценял високо и ѝ дал минимална преподавателска заплата. Така тя се сдобила с важната титла и кабинет в сградата на химиците. Обаче обидата не закъсняла: след време някой казал на Мария (и на още една професорска съпруга), че те могат да посещават седмичните семинари на факултета, но не и обедите след това. *"Естествено, аз не ходех на семинарите ѝ накарах Джо да обещае, че няма да се оплаква - разказва Мария. По-късно, когато имаха за лектор жена, ме поканиха, но тогава пък аз отидох на опера с Едуард Телер"*.

През зимата на 1939 г., скоро след нахлуването на германците в Полша, семейство Майер се преместило в скромна дървена къща в Леония, Ню-Джързи, на 20 минути от Колумбия. Там те сформирали малка колония от настоящи и бъдещи нобелови лауреати, като Ферми, Юри и Либи. Традицията у Майерови да се играе разпалено бридж, да се вихрят шумни купони и солидното пушене, се възприемало от съседите като прекалено изхвърляне и интелектуална суета.

Децата на семейство Майер си спомнят с топлота за годините, прекарани в Леония. Вечер майка им четяла немски издания на френски приказки и "Книга за джунглата" на Киплинг, като сама им превеждала. Тя пеела толкова често, че Питър мислел, че тя знае всяка от написаните от Шуберт песни. Джо, който бил по-приказлив от Мария, отговарял на детските въпроси и ги водел на разходки по плажа или на лагерни експедиции. Мария поддържала къщата с писмени нареждания и водела частната кореспонденция. Въпреки че създава няколко дълготрайни приятелства с жени близки до сърцето ѝ, тя никога не заобичала Леония. *"Аз съм свикнала повече с компанията на мъже, заради работата ми, и никога не съм имала много време за семейството си и сбирки на кафе. Честно казано, мисля, че в големи групи жените се превръщат в хленчеци същества"* - споделяла тя.

В началото на 40-те години семействата на Ферми и Майер се опасявали, че американските фашисти ще вземат връх в Съединените щати. Пронацистката германо-американска организация била много активна в Ню-Джързи, затова Мария и Джо напуснали тамошния германо-американския социален клуб. *"Независимо, че одобряваше пруските действия, майка ми беше доколкото е възможно антинацист"* - разказва Мариане.

В много отношения Втората световна война била война на физиците. Те създали както радара, който бранел британците от германските въздушни атаки, така и атомната бомба, която сложила края на войната. Физиците били толкова търсени, че дори Мария Майер получила работа.

Първия пробив станал същата есен, когато американското физическо дружество адресирало писмо до нея с обръщението "Dear Sir" е я нарекло "колега". По късно тя получила първото си предложение за работа от девическия колеж "Сара Бернар", което тя описва като доста претенциозно, но не и научно обвързано. Когато интервюиращият я попитал дали един интердисциплинарен курс би бил толкова важен за жените, като изучаването как да се регулира коминът на една пещ, Мария била смаяна: *"Аз попитах дали единствената причина учениците да учат английски е да могат да четат готварската книга? От "Сара Бернар" се опитваха да разберат дали съм традиционна и скучна"* Тя започнала работа, като заявила: *"Вие наистина се нуждаете от човек като мен!"*. След 12 години професионален стаж колежът плащал на Майер заплата от 2800 долара годишно при непълно работно време. Преподаването ѝ

харесвало, въпреки че балансирането на две дейности и семейство понякога било объркващо. Веднъж тя закарала Джо с колата до гарата в Леония, за да хване влака за Колумбия, но забравила да се върне в къщи, за да се преоблече и продължила да кара 20 минути на път за колежа "Сара Бернар" по хавлия.

След Пърл Харбър Юри я назначил на работа по най-секретните проблеми на разработването на атомната бомба, преди да ѝ бъде дадено официално правителствено разрешение. Мария се захванала с нова изследователска област - атомната физика. Тя се бояла, че германците могат първи да направят атомната бомба. Бигелайзен потвърждава: *"Тя направи всичко възможно САЩ първи да направят бомбата"*. Юри и Колумбийския университет били натоварени с разработването на суперсекретен метод за обогатяване на урана, необходимо за конструирането на атомната бомба. Те трябвало да отделят изотопа уран 235, който бил лесно делим от по-често срещания в природата уран 238. Проектът под названието SAM се разработвал за нуждите на федералното правителство и то плащало на Мария Майер. Когато тя заявила пред Юри, че няма да работи съботните дни или когато децата ѝ боледуват, той я назначил към т.нар. "съпътстващи дейности" - в случая - проучване на възможността за отделяне на изотопи чрез фотохимични реакции. Тя станала неофициален научен ръководител на около 15 души, предимно химици. *"Това беше хубава, чиста физика, въпреки че не допринесе нищо за отделянето на изотопите"*, споделя тя. По същото време Джо правел изследванията си върху оръжието на отдалечено място шест дни седмично.

Работата ѝ по проекта SAM (Substitute Alloy Materials) бил успешен за професионалното развитие на Мария. Изненадващо и за самата нея, тя била приета като добър учен. Това било началото на утвърждаването ѝ като самостоятелен учен, а не като ослания се на Джо. Тя си създала репутация на експерт при решаването на проблеми. *"Само да се заеме с някакъв проблем и въпросът беше решен"* - разказва Бигелайзен. В деня, когато се върнала на работа след операция на жлъчката, тя се заинтересувала какво работи. Когато ѝ обяснил, тя попитала дали може да му помогне. Третото ѝ изречение вече съдържало решението на проблема и революционизирало химията на изотопите.

Военните години били тежки за здравето ѝ. Мария прекарала пневмония, операция на жлъчката и имала проблеми с гушата. Но нищо не я спирало да пуши или да ходи на тежки обществени запои. Тя пушела непрекъснато, често по 3-4 цигари една след друга. Заедно с Джо, също заклет пушач, слушали семинарите сред облаци дим и побутвала Джо за следващата цигара, преди да свърши предишната. Когато Бигелайзен внесъл под палтото си бутилка забранено уиски "Балантайнс" в болничната ѝ стая, тя го нарекла "спасител". По време на напрегнатия военновременен проект по работата за отделяне на уран 235, Бигелайзен осигурявал на Юри, Телер и Майер, станалия изключително популярен коктейл за сутрешната почивка. Мариане разказва как родителите ѝ осъзнавали вредността от пушенето и се опитвали да спрат, но до такова заключение за алкохола не достигнали никога. През 40-те и 50-те години истинските мъже и жените-интелектуалки пушели и пиели, и колкото повече се е леело на едно парти, толкова по-забавно било, по думите на Мариане.

Когато Джо заминал за Южния Пасифик да наблюдава нахлуването в Окинава, Майер прекарала един месец в Лос Аламос, работейки над водородната бомба на Телер. Тя анализирала поведението на урановите смеси при много високи температури и налягания в очакване на термоядрена експлозия. Офицер от службите за сигурност

непрекъснато я наставлявал: *"Трябва винаги да помните едно нещо - не споменавайте пред никого, че има връзка между работите, извършвани в Лос Аламос, Чикаго, Колумбия, Ханфорд, Оук Ридж и т.н., защото това е свръхсекретна информация!"*. Тогава за пръв път Мария научила, че има някаква връзка между тези изследвания. Тя била изключително раздразнена, защото ѝ било забранено да говори за атомната бомба с Джо. *"Някои приятели казват, че аз съм много зависима от Джо и аз наистина винаги съм споделяла всичко с него - казва по-късно Мария. Да пазя от него тази ужасна тайна за изработването на атомната бомба през четирите години на Втората световна война беше за мен по-трудно от всички останали предразсъдъци през годините"*.

След войната Мария изказвала удовлетворението си, че нейният проект в Колумбия няма принос за атомната бомба. *"Ние се провалихме. Не открихме нищо, имаме късмет, че не сме допринесли за създаването на бомбата и така избягнахме изгарящата вина до ден днешен да носим отговорността за бомбата"*. *"Но тази работа не я безпокояла на времето. И в личен разговор с Юри, от изследванията на Ферми и нейните познания по физика, тя е знаела че работи по изготвянето на атомната бомба и какво означава това"* - подчертава недвусмислено Бигелайзен.

Когато Япония капитулирала, групата от Леония вкупом се премества в Чикаго - центъра на следвоенните научни експерименти. Нейният стар приятел от Гьотинген и Балтимор Джеймс Франк бил вече там. И когато Чикагският университет създал интердисциплинарен институт за изследване на атомното ядро, Ферми, Юри, Телер, Либи и семейство Майер се приобщили към "забавлението". Брилянтните дипломанти - Ц. Д. Ли и Ч. Н. Янг, бъдещи Нобелови лауреати, се събрали в "Града на вятъра" да се учат от Ферми.

В нова версия на старата "доброволческа" тема Мария станала отначало "доброволен асистент", а по-късно и "доброволен професор" - все неплатени длъжности. Депресията била минала, но рестриктивният режим бил жив. Този път Мария нехаела: Чикаго било мястото за нея и тя била главната фигура в групата. Това било първото място, където не я смятали за по-низша, а я приемали с отворени обятия. Чикаго бил оживеният Гьотинген.

Джо председателствал прочутите ежеседмични сбирки в Института по ядрени изследвания (сега носещ името на Ферми). Въпреки че бил химик, физиците го уважавали толкова много, че по-късно го избрали за президент на Американското физическо дружество. Единственото правило на неговите семинари било *"Не прекъсвайте, докато някой друг прекъсва!"*. Посещението на сбирките било като да седнеш на разговор с ангели, както го определя техен участник.

Мария водела семинара по теоретична физика по подобие на физико-химичните семинари на Джо. Тя работела в комисии, помагала на хоноруваните преподаватели, консултирала дипломанти и участвала в пресъздаването на духа на прословутите трудни заключителни изпити по физика на Чикагския университет. *"Нас ни интересуваха само бъдещите Хайзенберговици"* - обяснявала тя.

"Мария Майер беше една от любимите ми преподавателки в Чикаго - заявява Сам Тримън, бъдещ професор по физика в Принстънския университет. Тя преподаваше стабилен и съдържателен курс. Проф. Майер презираше дори намек за показност."

Ясно беше обаче, че е заклета пушачка, а в онези дни беше съвсем приемливо за професор да пуши в час. И тя често го правеше - запалваше и четеше лекцията с цигара в едната ръка и тебешир в другата. Пушеше с едната и пишеше с другата на дъската. Често предметите в ръката си разменяха местата по случаен ред. Когато вълнението по някоя физическа разработка стигаше върхната си точка, тя беше готова да пише с цигарата и да пуши тебешир".

Една сутрин Юри я помолил за едно допълнително изчисление, основано на развита от нея и Бигелайзен теория. Юри се нуждаел от резултата за изказването си в 4 часа след обяд. *"Аз подозирах, че той представя това като предизвикателство към Мария и мен, за да разбере дали нашият метод е работещ, както твърдахме ние"* - разказва Бигелайзен. Потъвайки в работа, те предали резултата в 2 часа. Притесненият Юри вече бил забравил кой е направил изчисленията. В изказването си той препоръчал за повече информация по въпроса да посещават часовете на професор Джо Майер. Раздразнена, Мария се провикнала от задната част на залата, където седяла: *"А какво не е наред с моя курс?"*. Тя се състезавала дори с съпруга си Джо.

Междувременно бившият ѝ студент от университета "Хопкинс" Боб Сакс бил станал шеф на теоретичния отдел на новата лаборатория Аргон, недалеч от Чикаго, а по-късно станал и неин директор. Той попитал Мария не иска ли да изкара малко пари и тя се съгласила. *"Защо да не уредим половин място за теб в Аргон като старши физик"* - предложил той. *"Но аз не разбирам нищо от ядрена физика (основна тема на лабораторията по това време)"* - се безпокоила Мария. *"Ще я научиш"* - утешил я Сакс.

Така студентът ѝ станал неин шеф. Мария навлязла в третата област на своите научни изследвания, а федералното правителство я подкрепяла финансово, докато тя работела по тема, представена по-късно за Нобелова награда. Бил ѝ предложен и пълен щат в Аргон, но тя не искала да пропусне вълнуващото пребиваване в Чикагския университет.

Тя не се оплаквала. *"Имах всичко, което исках - най-големият кабинет, преподавателски статут и една от най-добрите консултантски заплати, която ми плащаше Националната лаборатория в Аргон. Повечето от нашите приятели-преподаватели се бореха за мен"* - разказва тя. Кардиналното ѝ правило било *"Не прищипорвай приятелите си"*. Подобно на политиците тя разбирала, че не може да отиде по-далеч от общественото мнение.

Майер харесвала в Чикаго и живота извън университета. Те си купили стара триетажна тухлена къща в Кенууд, в южната част на града. Когато богатшите напуснали този район, в него се заселили преподавателски семейства. Къщата имала високи тавани, шест камини и място за голяма зеленчукова и цветна градина. На остъклената веранда на третия етаж Мария отглеждала ладиеобразни орхидеи и когато Мариане се омъжила, тя успяла да накара всички цветя да цъфнат наведнаж: 20 растения с 200 цвята.

Социалният живот в Чикаго напомнял старите времена в Гьотинген и защото Джеймс Франк живеел наблизо. Ежегодното новогодишно парти у Майерови за 100 и повече старши учени било забележително с високата си 3,5 метра коледна елха, украсена в Гьотингенски стил с метални висулки и истински свещи; орхидеи и леещ се алкохол във всяка стая, уредена вечеря на долния етаж; в библиотеката на 2-я етаж се пеело, а в билиардната зала на 3-я се танцувало. Кулминационна точка на социалното

разточителство на Майерови била международната конференция, проведена през 1951 г. в Чикагския университет. Мария давала коктейл и през четирите поредни вечери с беxерови чаши за напитките. Оживена и щастлива, тя била в центъра на тълпата учени.

За кратко време след войната тя била активна и в националната политика. Заедно с Джо и Юри поддържала разработваната в началото на 50-те години от Телер водородна бомба. В една реч след войната тя заявила, че и без международен контрол над ядрената енергия САЩ ще намали уязвимостта си от съветска ядрена атака, ако строи градовете си в дълги, раздалечени помежду си ивици. От друга страна тя поддържала тезата за гражданския контрол над ядрената енергия и се обединила с други учени, които лобирали във Вашингтон срещу контрола от страна на Пентагона. През 60-те години тя се противопоставила на Виетнамската война и посредничела при болезнения семеен спор между Джо, който бил "ястреб", и сина им Питър, който бил "гълъб".

Чикаго станала сцената на най-големия научен триумф на Мария Майер. Изследванията през военните години натрупали многобройни данни за изотопите - атоми на същия елемент но с различен брой неутрони. "Защо някои изотопи са по-рядко срещани от други?" се превърнало в фундаментален въпрос за учените. Нестабилното ядро се стремело да се разпадне радиоактивно до по-стабилен елемент - постепенно и последователно те преминавали от един елемент в друг, докато достигнат стабилна форма. А след като се стабилизирали, те не се променяли повече; и затова техният брой се натрупвал. Така, колкото по-стабилен бил изотопът, толкова повече изобилие от него имало във Вселената. Но защо? Телер предполагал, че заедно с Мария ще открият отговора, но скоро загубил интерес към проблема, а Мария била хипнотизирана от поредица произволни обяснения. Например, защо изотоп с 126 неутрона задържа своите неутрони по-здраво от изотоп с 127 или 128 неутрона. Всъщност, според тогавашните знания, само няколко елемента са били много по-разпространени отколкото теорията е могла да обясни. Тези елементи са с ядра с 50 и 82 неутрона. Мария Майер мислела, че за изключителната стабилност трябва да играе роля процесът на изграждане на ядрата. Но как?

И тя запознала да разкрива загадка след загадка: поредицата от т.нар. "магически числа" - 2, 8, 20, 28, 50, 82 и 126 - ядра с такъв брой протони или неутрони са необичайно стабилни. Но защо? И тя започнала да събира данни в подкрепа на т.нар. "слоиста теория на ядрото". Такава теория била развита през 30-те години и след това позабравена, когато към края на същото десетилетие Нилс Бор решава редица ядрени проблеми чрез предложения от него "капковиден модел". Като аутсайдер в ядрената физика, Майер не била запозната с модела на Бор и гледала на проблема с други очи. Частиците в слоистите ядрени орбити били като фините люспи на лука - без нищо в средата, предполагала тя. След това нейно обяснение, старият ѝ приятел Волфганг Паули я нарекъл "Мадоната на лука". Тя анализирала езотеричните фигури на енергийните спектри, въртене, ъглови моменти, потенциални ями, свързващи енергии, енергии на радиоактивно разпадане, изобилие на изотопи и тем подобни на "магическите ядра". Ако липсвал някакъв факт, тя се обръщала към експериментаторите в Аргон. Заела се не с простото решаване на проблема, а се вгълбила във фундаментални процеси на природата. *"Как самите протони се задържат заедно, как взаимодействат един с друг незаредените неутрони, които изграждат ядрата"* - се питала тя.

През 1948 г. Мария Майер докладва за своето откритие без никакво теоретично обяснение за смисъла му. *"Тя имаше много повече статистика за ядрото, отколкото събраната някога преди нея - казва Ханс Бете, корифей на ядрената физика, по това време декан на физическия факултет. Слоеве бяха установени, но нямаше никаква теория"*.

Един ден тя и Ферми правели някакви пресмятания по тези проблеми в нейния кабинет, където се срещали, защото Ферми не понасял пушачи в стаята си. Излизайки да позвъни на извънградски номер, Ферми подхвърлил от вратата: *"Случайно да има някакво указание за сдвояване при въртене по орбита?"*. *"Когато той каза това - спомня си Мария - всичко си дойде на мястото. След десет минути на мен ми беше ясно всичко"*. Тя била раздробила проблема на хиляди части. Докато Ферми се върне, всички детайли били поставени по местата си.

Тя полетяла към дома си развълнувана, радостна и екзалтирана: *"Завърших своите пресмятания тази вечер!"*. През следващата седмица Ферми преподавал теорията ѝ в курса си.

По-късно Мария съживява момента по следния начин: *"Това беше вид мозайка. Някой има много късчета (но не само магическите числа), но не може да си представи картината. Но предчувства, че само още едно късче, и всичко ще се нареди. И само някой, който беше прекарал толкова дълго време с данните, колкото мен, незабавно можеше да го обясни. Само за десет минути магическите числа намериха своето обяснение. Да се спечели Нобеловата награда не беше толкова вълнуващо, колкото самата работа за нейното достигане"*.

Решението било съвсем неочаквано. Сдвояването на спина не изглеждало важно преди това, практически то нямало никакъв ефект върху движението на електрони по атомните орбити. След като Майер открила ефекта вътре в ядрото, то придобило решаващо значение. За да обясни теорията на Мариане, тя нарисувала танцуващи двойки, въртящи се в концентрични кръгове - както слоевете на ядрото. Докато двойките обикаляли по орбитата, те се въртели и около оста си, някои по посока на часовата стрелка, други - в обратна. И както триумфално посочва Мария, всеки който е танцувал бърз валс знае, че е по-лесно да се въртиш само в една посока, отколкото в друга. Така въртенето по двойки в по-лесната посока ще изисква по-малко енергия, отколкото в обратната. И тази тънка енергийна разлика е достатъчна за обяснение на магическите числа.

Мария отлагала писането на статия въпреки намереното от нея обяснение. Други физици предложили аналогична теория и тя решила да почака, докато те публикуват своята работа. Джо бил раздразнен и ѝ казал, че отива твърде далеч със своето спортсменство. Откъснати от развитието на физиката по време на Втората световна война, без да познават капковидния ядрен модел на Бор, немските физици Ханс Йенсен, Ханс Зюс и Ото Хаксел публикували доклад с аналогични доводи. Било ясно, че са достигнали до същата идея едновременно с Мария Майер. Когато прочела техния доклад, Мария била слисана - за около пет минути. После осъзнала, че тяхната работа всъщност потвърждава нейната теория. Разбрала, че заедно могат да убедят повече колеги. Казала на Вайскопф: *"Сега, когато го направи и Йенсен, аз вярвам в тази теория"*. А от Германия Йенсен ѝ писал: *"Вие убедихте Ферми, а аз убедих Хайзенберг. Какво повече искаме?"*

За теория, която противоречала на десетилетия атомна физика, слоистият модел на ядрото бил приет забележително бързо. Моделът бил толкова успешен, че сега физиците трудно си представят изучаването на поведението на ядрото без него. Днес слоистият модел на ядрото е централна идея за ядрената структура. Ядрената теоретичка Елизабет Ури Баренджер, ректор на университета в Питсбърг, отбелязва: *"Слоистият модел е застъпен във всеки труд върху ядрената структура"*.

Вместо да се състезава с Йенсен за приоритет над теорията, Майер го пленила. Той станал последния в дългата верига от мъже, очаровани от Мария Гьоперт-Майер. И двамата наричали слоистия модел "Нашият модел". За него тя казвала: "Йенсен беше мил, любезен мъж, гледахме на нещата по един и същ начин - дори диоптрите на очилата ни бяха еднакви". Йенсен мислел за нея като за "невероятно скромна дама". Двамата написали обща книга за слоистия модел. В действителност Мария написала по-голямата част. В писмо Йенсен признава, че нейни са 80 % от книгата и повече от 95 % от важните дялове, затова не може да се смята за равностоен съавтор. Той се оплаквал, че е "дълбоко засрамен от това, че тя е написала толкова много глави", че се чувства като "паразит". Въпреки че Майер не пропуснала името му върху корицата на книгата, написала своето на първо място. Книгата потвърждавала репутацията на двамата като първи и основни създатели на теорията за слоистия модел, засенчвайки истинските сътрудници на Йенсен - Зюс и Хансел.

Докато пишели книгата, в писмата на Йенсен се смесвали физиката и възторжените обръщения *"Безценна Мария"*, *"Винаги твой малък Ханс"*, *"Калпазанинът"*, *"Разглезеното момче"* ... *"Това не бяха любовни писма, но така физиката не ми изглеждаше толкова сложна"* - ще изповядва по-късно той. Но когато накрая книгата била завършена, той бил щастлив да пише само любовни писма.

Постепенно обаче неговата влюбеност охладняла. Минавали месеци между писмата; започвал писмата си и ги завършвал след месеци. Той планирал пътувания до САЩ, без да знае, че Мария ще бъде в Европа по същото време. След години, когато Йенсен научил, че Мария е получила удар, той й писал с пожелание за бързо възстановяване и молба да напише статия за едно немско списание: *"... максимум 2 страници, но колкото по-дълго - толкова по-добре"* и че и той би написал нещо, ако тя се съгласи да пишат заедно ...

Мария Майер била избрана в Националната академия на науките на САЩ през 1956 г., същата година, когато внезапно загубила слуха в лявото си ухо. Ферми вече бил починал от рак, най-добрите аспиранти били престанали да идват в Чикаго да работят с него, а Телер и Либи били също напуснали университета. Скоро и Юри се преместил в новия филиал на Калифорнийския университет в Ла Йола и както винаги поканил там и семейство Майер. Още на следващия ден в Калифорния предложили на Мария платено професорско място. Тогава чикагската администрация решила, че може също да й предложи редовна професура. Тя била леко учудена от това предложение и силно поласкана от Калифорнийското. През 1960 г. се преместило там. На 53 годишна възраст, 10 години след революционното откритие, тя най-после имала редовна, пълна и платена университетска работа. Била изпълнила мечтата на баща си. Мария Майер била 7-то поколение професори в техния род; а синът ѝ Петер щял да стане 8-то.

Но вече било твърде късно. Скоро след преместването в Калифорния, докато разпаковала книгите си, Мария получила тежък мозъчен удар, който парализирал

лявата ѝ ръка и засегнал говора ѝ. Въпреки че се опитвала да продължи работата си, здравето ѝ никога не се подобрило. Джо, а и всички нейни приятели ѝ казвали, че страда от рядко вирусно заболяване, което е засегнало нервните ѝ окончания. Мария продължавала да пуши, а Мариане и брат ѝ мислели, че пие дори повече, за да заглуши болката.

На 5 ноември 1963 г. в 4 часа сутринта един шведски журналист позвънил от Стокхолм. Джо отговорил, подал слушалката на Мария и отишъл да изстудява шампанското: Мария и Йенсен били спечелили половината от Нобеловата награда по физика, а техният стар приятел от Гьотинген - Юджин Вигнер - другата половина. На разсъмване семейство Майер отпразнувало с бекон, яйца и шампанско. На сутринта местния вестник оповестил новината: *"Майката на Ла Йола спечели Нобеловата награда"*.

Пристигнала в Стокхолм, Мария се отплеснала и започнала да изследва двореца като професионална домакиня и го оценила високо: *"Толкова оживен и топъл, с разпален огън във всяка камина, чудесни ориенталски килими и бели люляци във всички вази!"*. Тя била втората жена с Нобелова награда по физика след Мария Кюри през 1905 г. Седейки на отрупания с цветя подиум пред краля, тя мислела за всички хора, които са стояли преди нея тук - имена, които била чувала като дете и приятели от миналото. Наблюдавайки я, Джо чувствал как сълзи се стичат по бузите му. *"Без Джо никога не бих стигнала до Стокхолм"* - казвала тя.

На снимките тя изглеждала дребничка и крехка, пристъпваща предпазливо към крал Густав VI. Ръцете ѝ били твърде слаби да държат златния медал и тежко подвързаната диплома, затова шведски съветник я следвал и ги носел вместо нея. След церемонията кралят ѝ подал ръка и докато преминавали през залата на път за приема, зрителите коленичили пред тях. *"Това беше приказка"* - казва Мария.

Последните години на Мария Майер били белязани от здравето ѝ. Тя била изпълнила бащината мечта, а Нобеловата награда я направила символ за "супержена": брилянтна професионалистка, щастливо омъжена и с прекрасни деца. *"Ако обичаш науката, всичко, което наистина желаеш, е да продължиш да работиш. Нобеловата награда те въодушевява, но не променя нищо"* - казвала тя и се опитвала да продължи изследванията си. Но здравето ѝ се влошавало, бил ѝ поставен пейсмейкър. Починала от белодробна емболия на 20 февруари 1972 г.

Джо предоставил архива ѝ на Калифорнийския университет в Сан Диего. Той съдържал лични писма и научни бележки; болничния картон на дъщеря ѝ от детската градина и план-график на конференции; преписани на ръка тетрадки с стихове на немски поети и менюта от приемите, които устройвала - всичко смесено в живота на една жена.

Превод: Мария Кирчева

Редакция и съкращения: Н. Ахабабян

* Sharon Bertsch McGrayne, *"Nobel Prize Women in Science"*

In Memoriam

Проф. дфн ЗЛАТИ МИНЧЕВ ЗЛАТАНОВ

(1934 - 2001)

След дълго и мъчително боледуване на 3 март т.г. почина професор, доктор на физическите науки Злати Минчев Златанов, дългогодишен преподавател по физика и изявен български учен в областта на физиката на високите енергии и на елементарните частици. Проф. Златанов е роден в г. Стара Загора, където завършва гимназия, а висшето си образование получава във Физическия Факултет на Софийския университет, след което професионалният му живот е свързан, повече от четиридесет години, с в катедра “Физика” на ХТМУ, София, където измина целия път от асистент (1959 г.), през доцент (1984 г.), до професор (1997 г.). Научно-изследователската му работа е свързана с основната тематика на катедрата – експерименталната физика на елементарните частици, по която тематика специализира и работи дълги години в Лабораторията по Високи Енергии в Обединения Институт за Ядрени Изследвания в Дубна. Близко стоте научни публикации с негово участие в реномирани списания по протон-протонни, протон-деутронни и антипротон-протонни взаимодействия при енергии няколко десетки гигаелектронволта се ползват с известност и са цитирани многократно от други автори. На такава тематика са и дисертациите, които той защити за получаване на научните степени д-р (1973 г.) и дфн (1994 г.). Благодарение на изявените си качества на много добър преподавател и експериментатор, а също така и на пословичното си трудолюбие и всеотдайност в работата, той се ползваше с уважението на студентите и остави трайно следа в преподавателския и научен живот на катедрата. Жизнерадостният характер и стойностни човешки качества на проф. Златанов бяха основата за топлите чувства и симпатии на всички, които го познаваха, дружаха или работиха с него.

Поклон пред светлата му памет!

Съюз на Физиците в България

ТРИЪГЪЛНИК НА МИСЛИ*

Ален Кон, Андре Лишнеровиц, Марсел Пол Шюценберже

Част 1

Глава VI. Космологията и великото обединение

Андре Лишнеровиц - Искам да поставя няколко въпроса относно великото обединение и по-специално за обединението с гравитационното поле. Идеята за обединението идва от "big bang", при който в първите няколко секунди, както казва Уайнбърг, четирите взаимодействия са били едно единно взаимодействие. И аз мисля, вярно или не, че гравитационното поле не е физическо поле като другите, доколкото именно то определя за всички други физически полета пространството и времето, посоките в пространството и времето. С това е свързан един много сериозен въпрос: как в действителност се разглежда това поле в теоретичната физика? Това, което се представя под названието квантова гравитация, е далеч от удовлетворително и би било хубаво да го обсъдим. Ние регистрираме частици, идващи от извънредно далечни части на Вселената. Аз не знам друга област на науката - може би само с изключение на канонизираната физика, а също на математиката, - която да се опитва да опише частиците, пристигащи от твърде далечни области и попадащи в едно нащърбено пространство без симетрията, за която знаем как да правим това описание - пространство-времето на Минковски или сферичното пространство. Ето такъв въпрос бих искал да поставя.

Ален Кон - Струва ми се, че когато говорим за обединение, трябва да различаваме две равнища. Първото е равнището на обединението на трите фундаментални сили на физиката на елементарните частици, съответстващи на слабите, силните и електромагнитните взаимодействия. Трябва да се прави разлика между обединението на тези три сили и обединението с гравитацията - "квантова гравитация", което се поставя в кавички, защото такава теория все още не съществува.

Обединението на слабите и електромагнитните сили е една великолепна теория, която дължим на Глешоу, Уайнбърг и Салам, чиято валидност буквално ежедневно се потвърждава в големите ускорители на частици. Всички частици, предсказани от тази теория, са многократно регистрирани със само едно забележително изключение - на частица с нулев спин, наречена бозон на Хигс. За обединението на трите сили - електрослаби и силни - е създадена цяла група теории, наречени "теории на великото обединение", които освен че не обхващат гравитацията, но за момента не съдържат нищо велико в себе си освен названието.

В теориите на великото обединение се предполага, че калибровъчните групи в теориите на електрослабите и на силните взаимодействия в действителност са подгрупи на една по-голяма група на Ли, по възможност проста група, на която съответства вярната теория. Изискването групата да е проста означава, че по съображения за вътрешна симетрия трябва да има само една константа на взаимодействието във връзката на бозонните полета, които са полета на Янг и Милс (по имената на двамата основатели на неабелевите калибровъчни теории). Първият проблем е да се обясни с някакъв

механизъм на нарушена симетрия как могат да се получат изходните части, т.е. електрослабите и силните взаимодействия. Във всички съществуващи модели изходът е да се въведе голям брой полета на Хигс, с което незабавно изчезва цялото величие на теорията. Най-малката група, с която физиците започнаха да опитват, тази на модела SU(5) на Глешоу и Джорджи, не върши работа, защото тя предсказва неустойчивост на протона от порядък 10^{30} години, каквато не е наблюдавана в природата. Групата SU(10) от друга страна има предимството да не предсказва неща, противоречащи на експеримента, но твърде големият брой полета на Хигс във веригата от нарушени симетрии, по която се преминава от SU(10) до калибровъчната група на стандартния модел, показва в какъв пункт моделът си остава изкуствен.

Фактически единствената съществена мотивация за теориите на великото обединение е следното наблюдение. Във физиката на елементарните частици константите на връзката, които определят силата на взаимодействията, въпреки своето название не са константи - те зависят от равнището на енергията, достигната в експеримента. От наблюденията е установено, че константата на електродинамичната връзка, която при обичайни условия е малка (около $1/137$), започва да расте - по логаритмичен закон - заедно с ефективната енергия. Ако по този начин екстраполираме поведението на трите константи на връзката (електродинамичната константа, константата на слабите и константата на силните взаимодействия), ще получим три криви, които се сливат при енергия, чиято стойност не е много различна от енергията, задавана от гравитацията (именно Планковата енергия, която се определя от Нютоновата константа на гравитацията, от Планковата константа и от скоростта на светлината). Тази енергия на обединението е около 10^{-4} в Планкови единици, но все пак е близо 10^{13} пъти по-висока от енергиите, които се използват в CERN. Твърдението, че трите криви се събират в една точка, в действителност е малко неточно. То не става по-точно в така наречените “суперсиметрични теории”, т.е. с цената на изкуствено прибавяне на толкова частици, колкото са действително наблюдаваните. За всяка от тези частици има по един суперсиметричен партньор: например на фотона съответства фотиното и т.н. Така че стандартният модел трябва да се замени с т.нар. “суперсиметричен стандартен модел”, който теоретически е малко по-задоволителен, тъй като позволява да се разреши проблемът за йерархията на масите, запазвайки скаларните полета посредством (супер)симетрията, която ги свързва с фермионите; за съжаление досега нито една от тези нови частици не е наблюдавана и положението остава най-малко неясно.

Така наречената “квантова гравитация” има доста дълга история. Първоначално са се опитвали да разглеждат радиационната част на гравитационното поле като едно от полетата във физиката на елементарните частици. В нашата дискусия за откриването на ОТО (обща теория на относителността) видяхме, че метричните коефициенти $g_{\mu\nu}$ представляват обобщение на Нютоновия потенциал. Ако метриката на Минковски се деформира инфинитезимално, в съответствие с уравнения на Айнщайн, ще възникне чисто радиационна флуктуация, която може да се тълкува като гравитационна вълна или частица със спин 2, наречена “гравитон”.

Марсел Пол Шюценберже - Има ли просто обяснение защо гравитонът трябва да е бозон? Защо спинът му е 2, а не 1?

А.К. - Причината е много проста. Наивистичният подход на физиците при квантуването на гравитацията е да се внесе пертурбация в метриката на Минковски. Така че към метриката на Минковски се прибавя малка флуктуация. Тъй като това е пертурбация на

гм ν , тя има два симетрични индекса, това е симетричен тензор от втори ранг. Начинът, по който му действат ротациите, означава, че гравитонът е частица със спин 2, така че щом спинът му е цял, той е бозон.

А.Л. - Съгласен съм. Самият тензор на кривината е представяне за спин 2, защото той има две двойки антисиметрични индекси.

А.К. - Физиците се опитаха да разглеждат гравитона подобно на фотон. Те се заеха да квантуват гравитационното поле, така както се квантуват полетата на електрослабите и на силните взаимодействия. Най-значителните опити в тази насока са тези на Р. Файнман, Л. Фадеев и Б. Де Вит. Но за постигането на достатъчно ефикасна теория е необходимо едно основно свойство на квантовите полета - това е тяхната ренормируемост. Това означава да е възможно, с цената на някои остроумни трикове, да правим пертурбационни пресмятания с реални предсказвателни резултати, освобождавайки се от разходимостите, възникващи при изчисленията на Файнмановите диаграми. Но Файнман, Л. Фадеев и Б. Де Вит стигат до следния извод: гравитационното поле не се ренормира. По хода на пертурбационните пресмятания се налага да се добавя все по-голям брой произволни константи, така че теорията загубва своята предсказвателна сила.

М.П.Ш. - При все това съществува режим, при който за изчисленията е достатъчен само малък брой константи.

А.К. - Съвършено вярно. Макар че теорията не е ренормируема, факт е, че ако се пренебрегнат по-високите от втора степен на една определена константа на връзката, пресмятанията могат да се осъществят. Но тези резултати имат твърде ограничена област на валидност.

М.П.Ш. - Дали Андре ще може да уточни с каква скорост трябва да се прибавят константите?

А.Л. - Не, не бих могъл да уточня, защото подходът за квантуване на гравитационното поле, който аз бих възприел, е коренно противоположен. Моята гледна точка е тази на макроскопски релятивист, така че аз срещам още по-големи затруднения, когато трябва да си изясня как например астрофизиците могат да разсъждават в действителност. Те са квантисти в понеделник, сряда, петък ... и релятивисти през останалата част на седмицата. Резултатът е изцяло непоследователен и затова не е чудно, че те не се гордеят с него.

А.К. - Вярно е, че несъвместимостта на тези две теории - на ОТО и на квантовата теория - едновременно е скандално и твърде вълнуващо. Трябва обаче да се знае, че ренормируемостта не е единственото ограничение, налагано от физиката - по-важно от него е изискването за унитарност. Една теория е унитарна, когато величините, представящи вероятностите, са реални числа между нула и единица. Няма никакъв начин да заобиколим това условие. Гравитацията може да се направи ренормируема чрез добавяне на нови членове към лагранжиана на Айнщайн - Хилберт, като например квадрата на скаларната кривина, но за беда заедно с това се губи унитарният характер на теорията.

М.П.Ш. - Твоята история по този повод не ми се струва напълно коректна в някои отношения, защото изходната идея, довела до така нареченото “велико обединение” (обединението, което обхваща гравитацията, вероятно ще трябва да се нарича “твърде велико”), е “big bang”, т.е. изводите на ОТО.

А.К. - Преди да говорим за “big bang”, държа да формулирам проблемите, на които се натъкват физиците при построяването на теорията, наречена “квантова гравитация”, за която едва съм започнал да говоря. Извънредно трудно е да се построи теория, която едновременно да е унитарна и ренормируема!

М.П.Ш. - Можем да се опитаме да минем през супергравитацията, за която е възможно да се построят ренормируеми теории.

А.К. - Най-интересна е теорията на супергравитацията с $N = 8$ суперсиметрии. Тя беше построена от Кремер, Джулиа и Шърк през 1978 г. Но не е известно дали тя е ренормируема, макар че е известно как могат да се държат под контрол Файнмановите диаграми с няколко затворени цикъла. Но има всички основания да се смята, че и там ще се сблъскаме със същия проблем и че теорията не е ренормируема.

Сега стигаме до теория, която е много на мода, върху нея работят много физици-теоретици и нейна цел е квантовата гравитация. Става дума за теорията на струните¹. Нейната история заслужава да бъде разказана. В началото тази теория няма нищо общо с гравитацията, а е свързана с една друга област на физиката - феноменологията на силните взаимодействия. Преди да бъде намерена теория на калибровките, позволяваща по един твърде естествен начин да се описват силните взаимодействия, т.е. преди настъпването на 1970-те години експериментаторите бяха открили определен брой емпирични правила, управляващи резонансите за силните взаимодействия, по-специално теорията на полюсите на Редже ... Беше въведена S матрицата и с помощта на емпирични модели бяха формулирани свойствата, които тя трябва да проверява.

Матрицата S е един вид черна кутия, която позволява при зададени начални условия - например импулсите и масите на известен брой частици, - да се определи амплитудата на вероятността да се получи зададена крайна стойност. Това не е вероятност, а амплитуда на вероятност, която представлява квадратен корен от вероятността; така се стига до една матрица, наречена “ S ”, която на всяка зададена начална и крайна стойност съпоставя едно комплексно число. Формулирани са някои нейни свойства, между които е и унитарността, за която споменах по-рано. Оказва се, че Габриеле Венециано, италиански физик-теоретик, е намерил през 1968 г. такава математическа функция, която притежава точно изискваните свойства. Тя налага да се въведе бета-функцията на Ойлер, която е класическа функция на математиката, и води до функции, които обобщават бета-функцията.

М.П.Ш. - Това хипергеометрични функции ли са?

А.К. - Това са обобщения на бета-функциите за много променливи. Първоначално те са въведени като кратни интеграли, но много скоро след това са изразени посредством оператори на раждане и унищожаване. Именно по този повод, във връзка с позитронните модели на П. Рамон, А. Невьо и Дж. Шварц, във физиката е въведена суперсиметрията от Вес и Цумино. След това е забелязано, че така получените функции описват не само разпространението на частици, но също и на малки струни, т.е. на

малки изображения на окръжност в пространството. По такъв начин по-добре са разбрани свойствата на тези функции.

По-нататък теорията излиза от употреба, защото в началото на 1970-те години рязко нараства интересът към калибровъчните теории, които в продължение на повече от десет години заемат предния край на сцената и регистрират редица теоретични и експериментални успехи.

Теорията на струните е предназначена за прилагане към силните взаимодействия, т.е. към мащаби от порядък 10^{-13} cm (доста далеч от мащабите 10^{-33} на квантовата гравитация). Все пак към 1974 г. физиците-теоретици Джоуел Шърк и Джон Шварц издигат хипотезата, че теорията на струните, вместо да описва силните взаимодействия, би могла да бъде теория на квантовата гравитация. Ясно е, че тази хипотеза трябва да се възприема с доза скептицизъм. Установено е само, че тази теория на движещи се в пространство-времето малки струни води до съществуването на частици със спин 2 и нулева маса, както е при гравитона. Това е твърде изненадващ факт, тъй като до този момент никой не е знаел за теория, която да е естествена, потенциално ренормируема и която да съдържа в себе си гравитона.

Отдавна е известно, че няма възможност да се примири гравитационното поле с изискванията за ренормируемост и унитарност, без да се въвежда безкраен брой допълнителни полета, което изглежда непреодолима задача. Затова, по липса на друга по-добра теория, физиците-теоретици започват от началото на 1980-те години след публикациите на Поляков и на Грийн и Шварц да разработват теорията на струните с надеждата, че тя ще позволи да се “квантува гравитацията”.

Един от съществените моменти, който убеди мнозина в тази идея, е съществуването на модели като този на хетеротичните струни, в които по някакво чудо се получава анулиране на нещо, което физиците наричат “аномалия”. Отсъствието на аномалия е още едно ограничение, което физиката налага, за да бъде задоволителна теорията на полето. Именно това ограничение позволи например да се предскаже съществуването на шестия кварк - “top” кварка на стандартния модел, - наблюдаван неотдавна в големите ускорители на елементарни частици. Така че това е ограничение, което напълно се е оправдало.

Обратно, теорията на струните до този момент намира оправдание единствено в строгата математика, където генерира редица нови идеи особено в сложната геометрия, развита главно в работите на Едуард Уитън, които оказват значително влияние. Но за физиката все още няма реален успех.

А.Л. - Нито теоретичен, нито експериментален.

А.К. - Това остава като един от съществените теоретични проблеми, засяга самите основи на теорията. Не съществува непертурбативен израз за функционала на действието, който би позволил да се правят сравнения между различните класически решения. При това първите непертурбативни резултати, дължащи се на твърде изненадващото откритие на дуалностите, показаха, че теорията на струните би могла да оцелее само с помощта на една теория на протяжни обекти с по-голяма размерност. Такава теория все още не съществува, но вече има название - “М-теория”, където М сочи към теорията на мембраните, а по-късно М намеква за теорията на матриците.

Известни са някои от ограниченията, които такава теория трябва да удовлетворява, като например да съвпада на големи разстояния със супергравитацията в 11-мерно пространство, което Джулиа и сътрудници използваха за супергравитацията $N = 8$. Но това наистина е твърде далеч от завършена теория.

Освен това, що се отнася до феноменологията, можем да се надяваме, че теорията на струните ще позволи да бъдат обяснени произволните константи, които възникват в стандартния модел, т.е. във физиката на елементарните частици, но засега теорията не дава нищо съществено в това отношение. Един от основните проблеми се състои в това, че както вече изяснихме по-рано, суперсиметрията, която е крайъгълен камък на струнната теория, трябва да бъде нарушена, за да не противоречи на експерименталните резултати по стандартния модел, а с нарушаването на тази симетрия автоматично се въвежда космологична константа в уравненията на Айнщайн и нейната големина е абсолютно несъвместима с наблюденията. Но трябва да бъдем търпеливи и да продължим теоретичните проучвания.

В края на краищата това е единствената теория, която дава предсказания за амплитудата на взаимодействието на гравитони. Но трудността с експерименталната проверка на тези предсказания е значителна. Също така няма преки наблюдения на гравитационните вълни, макар че теоретичните оценки и наблюденията над двойните пулсари косвено потвърждават тяхното съществуване. Това в известна степен е обезкуражаващо като експериментално затруднение.

Сега се връщам към онова, което каза Андре. То е нещо важно. Този род явления са възникнали в естествени условия при “big bang”, т.е. раждането на Вселената, началото ... Вярно е, че бихме могли да се надяваме, при наличието на една последователна теория, да получим повече сведения относно събитията, протекли в процеса на раждането на Вселената. Но още сме твърде далеч от това. Впрочем, когато говорим за раждане на Вселената, трябва да вложим доза скептицизъм, тъй като времето е многостранно понятие, което тук е само една привилегирована координата в математическия модел на пространствено-времето многообразие.

Това ми напомня един анекдотичен случай. По време на една телевизионна дискусия колежата-палеонтолог заяви, че в крайна сметка физиците-теоретици не са много напреднали, след като са могли да кажат какво е станало преди около 14 милиарда години, но нищо не знаят за онова, което е станало преди около 28 милиарда години! Когато говорим за времето, трябва да внимаваме и да не прекаляваме с наивната идея за времето просто като линейна променлива, която се търкаля.

М.П.Ш. - Искате ми се да кажа няколко неща. Мисля, че досега избягвахме, когато говорим за физиката, да изясним разликата между модели и реалност. Това ми се струва твърде опасно. Ти спомена за това, когато разказа анекдота за 14-те милиарда години; но според мен ние не казахме достатъчно ясно в какво се състои задачата на физиката и до каква степен тя е свързана с реалността. Бихме могли да вярваме, че сме стигнали до някакво равнище на реалност например с таблицата на Менделеев или с квантовата теория на Хайзенберг, макар че втората ни изправя пред трудности, които според мен са значителни и концептуално непреодолими. Все пак мисля, че този модел, каквито и да са произтичащите от него паралогизми, трябва да съответства на определено равнище на реалността или да бъде нейно добро приближение. Обратно, с течение на времето постепенно се оформя едно пълно обкръжение между обяснителния

модел и модела, лишен от емпирична реалност - модела на екстраполираните наблюдателни данни, каквато е теорията на "big bang". Това е теория на нещо, което би станало, ако се опитаме да разтълкуваме в духа на експерименталната физика някои преходи от експерименталната феноменология към границата на математическата теория. Струва ми се, че това са два различни аспекта на реалността.

А.К. - Проблемът, поставен от теб, е много съществен. Аз просто започнах с разказ за стандартния подход. Фрапиращо е наблюдението за това как прогресивно расте различието между експерименталните данни, т.е. наблюдаемата физическа реалност, и математическия модел, който е извлечен от тях и който след това самият се разглежда като "аналитично продължение" и се прилага в един друг контекст. В историята на теорията на струните математическият модел е извлечен от феноменологията на силните взаимодействия, а след това е трансплантиран върху гравитацията. Неговата самосъгласуваност в качеството му на математичен модел като че ли задоволява физиците-теоретици, които го използват за описанието на свършено различен кръг от явления и го разглеждат като някаква вълшебна кутия, от която ще изскочи обяснението на един съвсем различен проблем.

Това е същественият проблем на съвременната теоретична физика. Той засяга очевидното противоречие между две основни физически теории. Теорията на гравитацията, както посочи Андре, е теория на геометрията на пространството. По своя характер тя е коренно различна от теорията на останалите взаимодействия на частиците, доколкото неин обект е геометрията на пространството и доколкото тя самата управлява пространство-времето, докато другите полета варират в едно фиксирано пространство. Тази фундаментална разлика трудно се отчита в теорията. Моделът, който в началото е валиден за силните взаимодействия, внезапно се оказва валиден като "модел за гравитацията". Трябва да признаем, че неговата вътрешна съгласуваност - липсата на аномалии, липсата на тахиони и т.н. - е достатъчна, за да впечатли, да увлече цяло поколение физици-теоретици.

Накрая, ако ми е позволено да разтълкувам казаното от Андре, моето впечатление е, че тук се крие един значително по-дълбок проблем, чиято същност е да се пренесат идеи от физиката на елементарните частици към гравитационните вълни. Този проблем предполага концептуални промени, които са толкова значителни, колкото са направените от Айнщайн при прехода от специалната теория на относителността към теорията, обхващаща уравнението на Нютон, т.е. общата теория на относителността. Решаващата крачка е откритието на физическия принцип за еквивалентността: изчезването на усещането за собствено тегло при свободното падане.

Колкото до "квантовата гравитация", би било полезно да обсъдим откъсването от фундаменталната физическа реалност на математическите модели, които се смята, че я описват. Можем да говорим за математически модели, защото съществува множество такива модели за случая, който ни интересува. Не съм споменал например един друг модел на квантова гравитация, каквато е теорията на струните, която беше на мода през 1970-те години. В този модел се разглежда вълнова функция върху пространството на всички тримерни геометрии, после се написва един аналог на уравнението на Шрьодингер за тези вълнови функции. Ефективно съществуват няколко математически модела и налагащият се подход е да се разгледа цикълът, в който възниква разделянето между математическия модел и физическата реалност.

По времето, когато е открита специалната теория на относителността, т.е. когато се появяват работите на Поанкаре и особено на Айнщайн, съществуват от една страна дълги изчисления, целящи например електродинамиката да се преформулира по такъв начин, че да се съгласува с Лоренцовото скъсяване и т.н., а от друга страна - философски анализи. Последните биха могли спокойно да се правят и *a posteriori*, т.е. след като са направени пресмятанията. Те поставиха на преразглеждане идеята за измерване и понятието за време. Това породило големи вълнения. Не става дума за скъсяването на дължините, а за фундаментално преосмисляне на идеята за времето, на геометричната природа на пространство-времето и това преосмисляне не е ограничено само за определени екстремни условия.

В действителност фундаменталният проблем е да се примири великолепната теория на гравитацията с квантовата механика. При обсъждане на квантовата гравитация винаги се оформят две групи хора - едните идват от гравитацията, а другите - от физиката на елементарните частици. И всеки носи със себе си своя запас от модели. Числото на експерименталните факти, които се намират на пресечницата на двете теории, е извънредно ограничено. Без съмнение една същинска теория би трябвало да обясни произволните параметри на стандартния модел, но единствената лаборатория, в която по съществен начин действат едновременно гравитацията и квантовата механика, е началото на Вселената, т.е. големият взрив.

А.Л. - Моделът на big bang може да е получил експериментални доказателства, но аз бих искал да напомня по този повод една много красива теорема на Хокинг. Изхождаме от уравненията на Айнщайн, които свързват кривината на Ричи с тензора на енергията и импулса, приемаме, че имаме вселена, която не е празна в един точен смисъл, т.е. която съдържа енергия, и можем да докажем твърдение за невъзможност: при тези условия вселената не може да бъде безкрайна едновременно в миналото и в бъдещето; от уравненията на Айнщайн с необходимост следва, че трябва да има сингулярност в миналото или сингулярност в бъдещето или и двете.

А.К. - С риск да се сторя малко нещо педантичен ще си позволя да поясня какво е сингулярност: за вселената сингулярността съответства на незатворени геодезични линии, при това не е възможно да се прибавят точки към вселената и да се получи затворена геодезична линия, без да се излезе извън рамките на Лоренцовата геометрия. Възникват същите тънки проблеми, каквито познаваме в аксиоматиката на Хилбертовата геометрия. Забавно е да констатираме, че между тези аксиоми има добре познати, каквато е например аксиомата за успоредните прави, която съответства на петия постулат на Евклид, но има също така една аксиома за пълнота. Пълнотата се формулира по точно същия начин: предполага се, че геометрията е максимална за първите от споменатите аксиоми.

А.Л. - Съгласен съм. Ще приемам, че вселената, за която говоря, удовлетворява условието за пълнота.

А.К. - Интуитивната идея, която лежи в основата на теорията за "big bang" и която без съмнение подлежи на критика, е твърде проста: наблюдавано е, че спектрите на излъчване и поглъщане, които достигат до нас от много отдалечените галактики, показват отклонение към инфрачервения край, дължащо се на Доплеровия ефект. Това позволява да се оцени относителната скорост, с която дадена галактика се отдалечава от нашата. Експерименталните резултати на Хъбъл, многократно потвърдени по-късно,

показват, че относителната скорост е, средно взето, пропорционална на разстоянието от нашата галактика и е с посока към увеличаване на това разстояние. С това галактиките приличат на точки, нанесени върху балон, който се надува; всеки две точки от повърхността винаги ще се отдалечават една от друга със скорост, пропорционална на разстоянието между тях. Това означава, че Вселената - такава, каквато я наблюдаваме, - е в постоянно разширение. Наивната и очевидна идея е да обърнем смисъла на времето: ако всички галактики се раздалечават една от друга, при обръщане на времето те ще се сближават. Тогава можем да си мислим, че е имало един “момент”, когато те всички са се намирали в една точка.

М.П.Ш. - Признавам, че не съм убеден. Повтарям това, което вече казах. Теорията се създава като математическа екстраполация на феноменологичното приближение на едно наблюдавано явление. Емпиричен факт е, че населението на Земята расте почти непрекъснато от близо десет хиляди години. Ако екстраполираме това явление в един или друг смисъл или ако приложим теоремата на Хокинг, ще стигнем до безсмислици.

А.К. - Дадох само наивната идея. От много време в обръщение са и други модели, например стационарният модел или този на хомогенното пространство на конформната група - бойният кон на Ървин Сигъл, който го нарича “вселена на Максвел - Айнщайн”; но моделът на big bang ги превъзхожда благодарение на своята самосъгласуваност.

Един модел е интересен не само ако държи сметка за наблюдаваните явления, такъв е случаят с big bang, но най-вече ако позволява да се предсказват нови ефекти. Тук имаме едно твърде необикновено следствие от теорията на Гамов за нуклеосинтеза: ако е имало начален взрив, ще се наблюдават някакви остатъци, сред които ще има еднородна баня от електромагнитно лъчение при една определена температура, съответстваща точно на закона на черното лъчение. Например ние бихме могли да измерваме скоростта си относно тази термична баня. Двама радиоастрономи, Пензиас и Уилсън, опитвайки се през 1964 г. да измерят интензитета на радиовълните, излъчвани от нашата галактика, успяват чрез последователни засичания да изяснят, че паразитният фонов шум, който смущавал техните наблюдения, не идва нито от високите атмосферни слоеве, нито от нашата галактика, а от дълбините на Вселената. Преди две или три години в космоса беше изпратена сонда, наречена COBE, която измери Планковия спектър на това лъчение с невероятна точност; стана ясно, че това е именно лъчение на абсолютно черно тяло с абсолютна температура от порядъка на 3 градуса по Келвин. За известно време изотропията на това черно лъчение беше сериозно препятствие пред съвременните теории за образуването на галактиките, но за щастие бяха регистрирани малки ъглови анизотропии на температурата от порядък 3/100 000. Така че моделът е удовлетворителен, защото може да бъде проверен и евентуално отхвърлен от експеримента.

М.П.Ш. - Съществуването на черно лъчение във вселената беше предсказано преди войната.

А.Л. - Като следствие от big bang.

М.П.Ш. - Не, не като следствие от big bang, а като следствие от факта, че има граници на вселената и определен фонов шум. Този шум е бил предсказан, това е всичко.

А.Л. - Това не е всичко, защото според предположението на Гамов Вселената се разширява, като в началото е имало термично равновесие между веществото и лъчението. Точно това е важно.

М.П.Ш. - Ако вземем ограничено пространство и вътре в него има лъчение, което по законите на квантовата механика се отразява, поглъща и наново се излъчва, и ако с помощта на определени геометрични хипотези съумеem да се избегнем от парадокса на Олберс, т.е. от блестящо равномерно във всяка своя точка небе, струва ми се, съвсем наивно и интуитивно, че ще стигнем до определено равновесие ...

А.Л. - Равновесието не е съвсем същото.

А.К. - Това е твърде сложна история, която Уайнбърг обяснява подробно в книгата си *Първите три минути*². След определено време електромагнитното лъчение се отделя от веществото и неговото енергетично разпределение като функция от честотата се подчинява на закона на Планк, в който температурата е обратнопропорционална на големината на Вселената.

М.П.Ш. - Да вземем един класически физик от времето преди относителността и квантовата механика, нека това да е Планк, преди да е открил квантите; да предположим, че този физик въвежда в своя модел на Вселената хипотези за разпределението на масите, с които да се избегне парадоксът на Олберс: не би ли могло, посредством някои подходящи изменения, да се открие черното лъчение и то да се съобрази с желаната температура?

А.Л. - Мисля, че предсказанието на Гамов не би могло да се направи с дорелативистичен подход. В картината на Нютон Вселената е евклидова, R^3 , и се простира до безкрайност. При това положение, за да се елиминира парадоксът на Олберс, трябва средната плътност на материята да клони много бързо към 0. Така ще имаме безкрайно пространство, което практически е празно на безкрайно разстояние, т.е. отново стигаме до геоцентризъм. Трябва да се промени топологията, т.е. пространството.

М.П.Ш. - Или да се модифицира разпределението на материята ... Любопитно е дали не би се получил същият резултат, ако приемем, че разпределението е случайно.

А.К. - Това би означавало антропоцентризъм. Означава да имаме привилегировано място в тази безкрайност, което е твърде незадоволително. След Коперник става ясно, че би било опасно да предполагаме някакво привилегировано положение на човека във Вселената. Това е точно преобърнатият принцип, наречен космологичен принцип, който позволява да се оправдае законът за разширяването със скорости, пропорционални на разстоянията. По принцип нито една точка от Вселената не се отличава от другите. Моделът е самосъгласуван, което проличава от елементарни разглеждания: изследваме пространство, в което разпределението на масите е еднородно, но диаметърът зависи от времето; установяваме, че не е възможна стационарна вселена, и се убеждаваме, че при обръщане хода на времето има свиване. Но може да се отиде и по-далеч, доколкото сценарият на "big bang" дава и други предсказания. След началната експлозия Вселената се охлажда и, след като температурата става по-ниска от 3000 °K, протича отделяне на фотоните и постепенно охлаждане на лъчението заедно с разширяването на Вселената, като температурата

става обратнопропорционална на големината на Вселената; с помощта на прости разглеждания, основани върху относителната плътност на хелия и водорода в нея, се получава оценка за настоящата температура на лъчението. Това е неоспоримо. Така че, ако това, което казваш, е вярно, и ако е възможен друг модел, в който има черно лъчение и който е свободен от парадокса на Олберс ... би трябвало този модел да позволи да се предскаже температурата на реликтовото лъчение.

Моделът на big bang би могъл да се провери: направена е относително точна оценка за връзката между температурата на остатъчното лъчение и плътността на леките елементи във вселената.

М.П.Ш. - Разполагаме с два параметъра, чиито стойности са експериментално определени: 3-те градуса на Пензиас и скоростта, с която днешната вселена се разширява. Кои са константите в модела на Вселената, посредством които могат да се изчислят тези наблюдавани стойности? Колко са те - една или две? Кои са те?

А.К. - От една страна имаме уравнението, показващо как размерите на видимата част на Вселената зависят от космологичното време, а от друга - малък брой параметри в математическото описание на нуклеосинтеза при big bang, каквото е например отношението на броя на фотоните към броя на барионите.

М.П.Ш. - Има константи, които влизат в математическото уравнение. Например константата на гравитацията. За да се внесе ред в идеите, трябва да се различават променливите, наблюдавани почти непосредствено, и константите, които се въвеждат в уравненията. При зададен определен брой на наблюдаваните променливи и техните експериментални стойности целта на физика е да намери модел на изучавания обект, съдържащ минимален брой константи. Откъдето следват въпросите ми относно big bang: Как е създаден този модел? Кои са константите, които той трябва да включва, за да се получат наблюдаваните променливи?

А.К. - Големината на Вселената еволюира във функция от времето и от плътността на материята. Това е степенен закон, подобен на този на Кеплер - с тази само разлика, че степенният показател зависи от физическите условия, а именно дали преобладава веществото или лъчението.

Температурата на остатъчното лъчение става пропорционална на размера на Вселената от момента, в който това лъчение се отделя от веществото, т.е. повече не взаимодейства с него. "Константата" на Хъбъл се изменя също във функция от времето и също по степенен закон.

М.П.Ш. - Не всичко разбрах. Казваш, че общата теория на относителността ни дава модел на Вселената, в който фигурират няколко "произволни параметъра" или константи. От този модел могат да се изведат чрез изчисления две променливи: остатъчната температура и наблюдаваната скорост на разширяване. Така че имаме две наблюдаеми променливи. Когато установим, че едната от тях няма наблюдаваната стойност, това означава, че поне един от параметрите на модела трябва да бъде изменен, а също че другата наблюдаема променлива не трябва да зависи от този параметър. Другояче казано, ако искаш да докажеш прекалено много, не доказваш нищо.

А.К. - Има още една наблюдаема променлива - това е относителната плътност на водорода и хелия.

Поразителното в модела е неговата самосъгласуваност, благодарение на която той позволява да се предскаже, че порядъкът на температурата на остатъчното лъчение е 3 градуса по Келвин. За да направим това предсказание, използваме наблюдаваните във Вселената относителни плътности на леките елементи - водород и хелий, - при което прилагаме елементарни разсъждения, основани на статистическата физика. Подобно предсказание за порядъка на една величина до голяма степен не зависи от детайлите на използваните модели - били те на ОТО или на нуклеосинтеза.

М.П.Ш. - Успя да ме убедиш. Все пак това изявление е определено епистемологично, ако ми е разрешено да употребя тази дума. Теорията може да не е толкова гъвкава, както ми се струва, но нали в теорията на Хайзенберг спектралните линии от Балмеровата и от другите серии се пресмятат с точност от една хилядна до една стотинка, 10^{-7} ?

А.К. - Теорията на квантовата електродинамика ги дава до седмия десетичен знак и най-популярно в това отношение е “Ламбовото отместване”, представляващо разликата между енергетичните нива $S_{1/2}$ и $P_{1/2}$ за водородния атом. А за аномалния момент на електрона достигнатата точност е колкото отношението на дебелината на косъм към разстоянието от Париж до Ню Йорк. Това е 10^{-10} .

А.Л. - Без да намесвам спектроскопията, ще посоча факта, че всички спътници, изпратени в орбити около Слънцето, дават експериментално потвърждение на теорията на Айнщайн с точност, която им придава смайваща твърдост и не разрешава никаква възможност за деформиране на теорията. Цената, която ще трябва да се заплати за обобщаването и разширяването на Айнщайновата теория на гравитацията, ще бъде извънредно висока.

А.К. - Колкото до общата теория на относителността ще добавя нещо към това, което Андре каза току-що. Гравитационното поле на повърхността на Слънцето все пак е относително слабо и вариациите на g_{mn} спрямо g_{mn} на Минковски са от порядък 10^{-6} , т.е. те са твърде слаби; съответно на земната повърхност тези вариации са от порядъка на една милиардна! Обратно, когато се наблюдават двойните пулсари, вариацията е от порядъка на една трета, нещо огромно, но големината на g_{00} е приблизително 0,6 вместо 1. В продължение на дълго време експерименталните проверки на теорията на Айнщайн бяха твърде малко на брой, но след откриването на двойните пулсари и благодарение на твърде изящната теория, развита от Тибо Дамур и Натали Дерюел, вече можем да подлагаме ОТО на експериментална проверка с невероятна точност. Така стана възможно тя да се съпоставя с конкурентни теории - нещо, което позволи да се елиминират всички видове варианти, които най-често са теории с добавъчни скаларни полета.

М.П.Ш. - Между елиминираните конкурентни теории, които, щом могат да бъдат елиминирани, очевидно притежават необходимата степен на твърдост, е например теорията на Дике.

А.К. - В днешно време до елиминирането на тези теории се стигна благодарение на невероятната прецизност на експерименталните резултати, свързани с двойните пулсари.

М.П.Ш. - Андре, кои са конкурентните теории на общата теория на относителността, които са елиминирани от наблюденията с изкуствени спътници?

А.Л. - Те са много и теорията на Дике е една от тях. Но именно експерименталните данни от двойните пулсари позволяват най-доброто елиминиране на конкурентните теории.

М.П.Ш. - Що се отнася до пулсарите, това са радиоастрономични наблюдения. Наблюденията на спътници са по-преки, но резултатите не са така точни.

А.Л. - Пулсарите са по-интересни, защото тяхното гравитационно поле е силно, а периодът им на пулсиране е извънредно точен, въпреки това е часовник, чиято стабилност е сравнима с най-добрите атомни часовници.

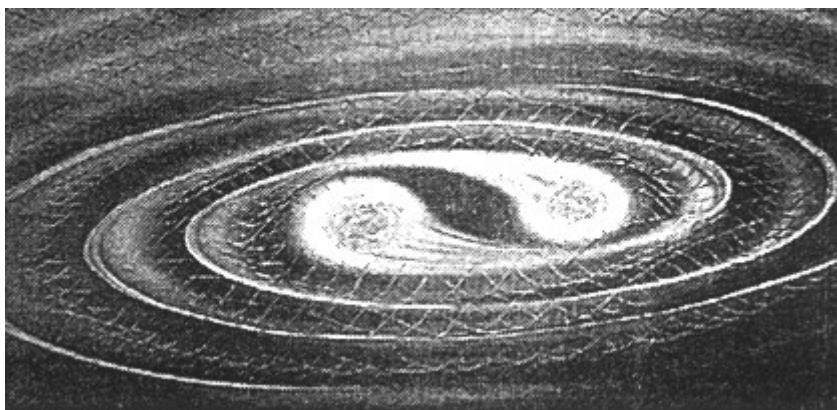
М.П.Ш. - Пулсарите нямат нищо общо със спътниците. Това са радиоастрономични наблюдения. Ако разбирам правилно, Дике например е отхвърлен по две причини: наблюденията на небесната механика, получени със спътници, и наблюденията на пулсари.

А.Л. - Точността е по-голяма при пулсарите, но аз съзнателно взимам спътниците, защото гравитационното поле, в което те се намират, е по-слабо, макар че спътниците се изпращат все по-близо до Слънцето. При все това теорията на Дике не достига същата точност като ОТО - освен ако не се правят изкуствени и необясними изменения на параметрите.

А.К. - Пулсарите са великолепен пример за диалог между теорията и експеримента.

Първите пулсари са открити през 1968 г. Първоначално е ставало дума за странни източници на радиовълни с много къс период. Изобщо сигналите са слаби и са нужни чудеса на изобретателност, за да бъдат регистрирани и класифицирани. Физиките бързо разбират, че става дума за неутронни звезди, обкръжени от много силни електромагнитни полета и въртящи се около собствената си ос. Различията между оста на въртене и магнитната ос създава периодични импулси - малко нещо като жирофар. Откриват се най-често сред остатъците от експлозията на супернова.

Първите двойни пулсари са открити от Хюлз и Тейлър през 1974 г. Тяхното значение е голямо, защото това са системи от две тела, а в ОТО проблемът за две тела съвсем не е тривиален. Например двойният пулсар PSR 1913 + 16 е съставен от две неутронни звезди, които се въртят една около друга с период около осем часа, с ексцентricитет е повече или по-малко равен на 0,62 и с маса от порядък един път и половина тази на Слънцето. Честотата на пулсирането на пулсара в двойката е от порядъка на седемнадесет пъти в секунда.



За да се получат експерименталните данни, първо се регистрират последователните интервали на пристигащите на Земята сигнали от пулсара, после се внасят корекции за различните ефекти на дисперсия на вълните в междузвездната среда, както и в самата Слънчева система. По-нататък могат да се сравнят експерименталните данни с анализ, в рамките на ОТО, на системата от две тела (вж. фигурата). Качествените ефекти са известни от отдавна, но остава много по-трудната теоретична работа: трябва да се получат пертурбативните членове по константата на връзката, която е обратнопропорционална на светлинната скорост и се появява по естествен начин; да се вземат под внимание всички ефекти, които не се отчитат в теорията на Кеплер за система от две тела и които зависят от определен брой посткеплерови параметри на системата.

Трябва добре да се разбира, че системата има пулс, но той не е съвършено редовен и затова прибавя още повече параметри, които подлежат на наблюдение. Пулсът не е равномерен, а има малки изменения, които се проявяват например с периодичност 8 часа. С помощта на Фурие-анализ могат по такъв начин да се наблюдават 14 или 15 различни параметъра. Тибо Дамур и Натали Дерюел направиха изчисления за система от две тела в рамките на ОТО, които вече станаха класически. Системата от две тела не е така проста, както е в теорията на Нютон, в която тя е само едно упражнение за студенти; това е извънредно сложна система, защото трябва да се съгласуват два модела на изолирани тела за случая на движение в общото им гравитационно поле. Пресмятането е направено до пети порядък по константата на връзката, която, както вече казах, е обратнопропорционална на скоростта на светлината. Получава се голям брой теоретични поправки за пулса на пулсара, които много точно съвпадат с наблюденията и по такъв начин позволяват да се проявят различията между ОТО във формулировката на Айнщайн и конкурентните теории. Когато се направят пресмятания по конкурентните теории, става ясно, че именно ОТО дава най-добрите резултати.

М.П.Ш. - Кои са наблюдаваните параметри? Единственият, който се регистрира, е бипкането на пулсара. Първото емпирично наблюдение е честотата на бипкането. Тук вероятно играе роля и интензитетът, защото именно поради флукуациите за период 8 часа е направен извод, че пулсарът се върти. Не вярвам, че е възможно да се локализира с такава точност, та да се наблюдава въртенето му около неговия компаньон.

А.К. - Наблюдават се много повече параметри от тези, защото бипкането има компоненти на Фурие, т.е. математическо представяне на последователността от

моментите, в които се регистрират бипканията. Става дума за аритметична прогресия, която е модифицирана от множество променливи ефекти за 8 часа или за кратните на 8 часа, така както и определени секуларни ефекти, които варират като степен на времето.

М.П.Ш. - Разбира се. Но не се ли наблюдава интензитетът на бипкането?

А.К. - Не. Това е електромагнитен сигнал, но неговият интензитет, който се усилва значително след приемането от антената, в действителност не е от значение, тъй като ние умеем да измерваме само неговите относителни вариации ...

М.П.Ш. - Единственото нещо, с което разполагаме, е поредицата от бипкания ... от нея извличаме масите на обектите и някои константи за уравненията, с които пресмятаме. Но пред нас е проблемът за две тела в общата теория на относителността. Тъй като времето не е абсолютно, константите на времето и на скоростта, с която то тече, се задават от бипканията. Това е локалното време на системата. Но скоростите не са релативистични.

А.К. - Към 1991 г. се прояви несъответствие между пресмятанията на Тибо и извънредно тънките експериментални наблюдения на Дж. Тейлър. Но скоро беше открита грешка. Тя се състоеше в това, че не беше взета под внимание вариацията на Доплеровия ефект, дължаща се на относителните положения на Слънчевата система и на пулсара в нашата галактика. Но тогава възникнаха още по-тънки различия. Практически трябва да се държи сметка за всички тънкости на ОТО.

А.Л. - Трябваше да се вземат под внимание още по-фини ефекти. Да разгледаме за начало пулсар, който се завърта за една хилядна от секундата. Известно е, че той има атмосфера от плазма, която се върти заедно с него с релативистични скорости до някакво разстояние, при което скоростите стават близки до светлинната. Другояче казано, има една напълно релативистична сфера, в която ще е валидна магнетодинамиката; има една граница, това е т.нар. "цилиндър на Лоренц", в който започват да се наблюдават частици, увлечени със скорост, близка до светлинната.

М.П.Ш. - В Нютоновата механика, ако двете тела са масивни, какви параметри са нужни, за да се направят всички изчисления?

А.Л. - Преди всичко масите на телата. Тъкмо това позволява в астрономията да се определят масите на двойните звезди. Масите на единичните звезди са известни с точност около една десета поради принципа на еквивалентността, съгласно който стойността на масата не оказва никакво влияние върху видимото движение.

М.П.Ш. - Продължавам с въпросите си ... В Нютоновата механика имаме равнината на еклиптиката, двете маси и една начална скорост.

А.Л. - Нужни са практически същите неща като за планета, обикаляща около Слънцето.

М.П.Ш. - На път съм да разбера какво става. Движението на центъра на тежестта на системата е инерциално, можем да предполагаме, че то е фиксирано също като орбиталната равнина; за да завършим описанието на системата, трябва да разполагаме с двете маси и с един допълнителен параметър, в този случай - началната скорост ...

А.Л. - Трябва да се знаят параметрите на орбитата.

М.П.Ш. - В Нютоновата механика параметрите са $5 + 2$. Колко са в ОТО?

А.К. - В релативистката механика има 5 Кеплерови параметъра, свързани с 6 произволни начални условия: началното положение и началната скорост. Един ъглов параметър се губи поради симетрията около линията на визиране. Освен това математическият модел има 2 произволни параметъра - двете маси. Така че има $5 + 2$ параметъра. Следователно, когато имаме теория на гравитацията, всички Фурие-коефициенти извън Кеплеровото описание са предсказани като функции от 7 параметъра.

М.П.Ш. - Ако съм разбрал правилно, първите коефициенти на Фурие, по-точно първите седем, са достатъчни, за да се определят физическите параметри на системата. След като веднъж тези параметри са известни, теорията предсказва останалите коефициенти на Фурие и по такъв начин може да бъде проверена всеки път, когато някой от тях е наблюдаван. Това е критерий за проверка.

А.К. - Като измерим пряко 5-те Кеплерови параметъра, ние можем да ги забравим. Така че, щом като се измерват n посткеплерови параметъра (например движението на периастръ³, удължаването на времето, и секуларната вариация на орбиталния период), ние ще имаме n уравнения с 2 неизвестни, които са двете маси, откъдето следват $n - 2$ възможни проверки на теорията на гравитацията.

Например за двойния пулсар 1913 + 16 се измерват 3 посткеплерови параметъра, откъдето ще имаме $3 - 2 = 1$ проверка на ОТО. За някой друг двоен пулсар, например за 1534 + 12, се измерват 5 посткеплерови параметъра, откъдето $5 - 2 = 3$ нови проверки за ОТО.

Всяка една от тези проверки би могла да бъде опровержение, но всички те се оказаха съвместими с теорията на Айнщайн.

М.П.Ш. - Добре казано! Това ми се струва много важно, защото не винаги съм убеден от нещата, които често чета, а именно че е невероятно трудно да се замени теорията на Айнщайн. Подобна нееластичност не е твърде разпространена!

А.Л. - Не, тя е твърде рядка. Философски съм убеден, че някой ден теорията на Айнщайн ще бъде заменена, но предвид тази твърдост - на твърде висока цена. Концептуално и експериментално това ще бъде така трудно, както трудна е замяната на теорията на Нютон с тази на Айнщайн.

А.К. - Това е много задоволителен пример, защото дълго време експерименталните проверки на Айнщайновата теория бяха твърде малко на брой. Гравитационното поле в Слънчевата система е относително слабо.

Вече сме близо до едно практическо приложение на тази теория. Когато искаме да определим много точно положението си на Земята със системата GPS, т.е. от момента на електромагнитно предаване към различни спътници, общата теория на относителността влиза в действие, за да ни даде поправките, свързани с геометрията на пространство-времето.

Това е поразителен пример за теория, която първоначално има за цел да реши проблеми, свързани с вътрешната съгласуваност на научните идеи, а сега вече е стигнала до своята зрялост. Тя е в своя стадий на експериментална проверка. Това е една физическа теория. Благодарение на двойните пулсари сега вече имаме потвърждение (все още непряко) за съществуването на гравитационни вълни. Пред нас е теория, която еволюира по добър начин - в пряк контакт с експеримента. Както каза Андре, ако един ден тя бъде заменена, това няма да стане лесно, ще бъде заплатена много висока цена.

М.П.Ш. - Няма ли нищо еквивалентно?

А.К. - В теорията на полето има съгласуваност на експерименталните резултати с теорията в еднакъв порядък на величините. Това например се отнася за аномалния момент на електрона или за спектралните линии. Тази теория все още не е достигнала математическото равнище на теорията на Айнщайн, но с това е дори по-вълнуваща; има експериментален материал, има ренормировката, която определено е нова изчислителна методика - едновременно чудесна с мощността си и загадъчна със своята ортогоналност спрямо стандартния математически формализъм. До известна степен усещането е като че ли се намираме пред прага на инфинитезималното смятане и не ни остава нищо друго освен да работим, за да разберем пълния му смисъл.

М.П.Ш. - Как решаваш апорията на квантовата механика, която фокусира вниманието си върху амплитудата на вероятността?

А.Л. - Седях в същото това кресло, а срещу мен беше седнал Жак Моно, още не беше публикувал книгата си *Случайност и необходимост*⁴. Казах му, че примесването на квантовите мутации с класическите мутации няма никакъв смисъл. Неговата случайност в действителност е от същия раздел, като този, за който разказва телевизията; но онова, което се нарича квантова вероятност, няма нищо общо с класическата вероятност, това са различни същности. Не можах да го убедя напълно. Той забърка различни неща, които на мен ми прозвучаха почти скандално, но това беше всичко.

Подбор и превод от френски: Михаил Бушев

* Alain Connes, Andre Lichnerovicz, Marcel Paul Schützenberger, *Triangle de pensees*, Editions Odile Jacob, Paris, 2000.

¹ Вж. статията от Х. фон Байер “Струнен свят”, СФ 2/2000, с 131, и статията на Е. Уитън “Дуалност, пространство-време и квантова механика”, (тук, стр.117) - Бел. прев.

² Вж.: Стивън Уайнбърг, *Първите три минути*, “Наука и изкуство”, София, 1984 г. - Бел. прев.

³ Също като перихелий, но не за Слънцето, а за коя да е звезда. - Бел. прев.

⁴ Jacques Monod, *Le hasard et la necessite*. Editions du Seuil, 1970. - Бел. прев.