

НОБЕЛОВАТА НАГРАДА ЗА ФИЗИКА ЗА 2011

Кралската шведска академия на науките реши да присъди Нобеловата награда за физика за 2011 г. на **Сол Пърлмутър**, Национална лаборатория Лоурънс в Бъркли и Калифорнийски университет в Бъркли, Калифорния, САЩ, **Брайън П. Шмит**, Национален университет на Австралия, Уестън Крийк, Австралия и **Адам Дж. Рийс**, Университет Джонс Хопкинс и Научен институт за космическия телескоп, Балтимор, Мериленд, САЩ „за откриването на ускореното разширяване на Вселената чрез наблюдения на далечни свръхнови“.

Сол Пърлмутър, гражданин на САЩ. Роден през 1959 г. в Урбана-Шампейн, щат Илинойс, САЩ. През 1986 г. получава научната степен доктор в Калифорнийския университет в Бъркли, Калифорния, САЩ. Оглавява Supernova Cosmology Project, професор по астрофизика в Националната лаборатория Лоурънс и в Калифорнийския университет в Бъркли.

www.physics.berkeley.edu/research/faculty/perlmutter.html

Брайън П. Шмит, гражданин на САЩ и Австралия. Роден през 1967 г. в Мисула, щат Монтана, САЩ. Получава научната степен доктор през 1993 г. в Харвардския университет, Кеймбридж, Масачузетс, САЩ. Оглавява High-z Supernova Search Team, почетен професор на Австралийския национален университет в Уестън Крийк, Австралия.

msowwww.anu.edu.au/~brian/

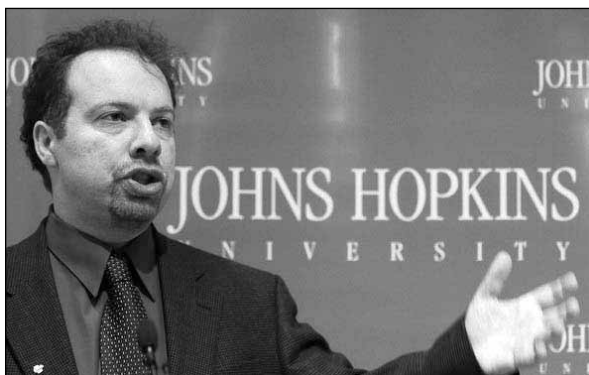
Адам Дж. Рийс, гражданин на САЩ. Роден през 1969 г. във Вашингтон, федерален окръг Колумбия, САЩ. Получава научната степен доктор през 1996 г. в Харвардския университет, Кеймбридж, Масачузетс, САЩ. Професор по астрономия и физика в Университета Джонс Хопкинс и Научния институт за космическия телескоп в Балтимор, Мериленд, САЩ.



Сол Пърлмутър

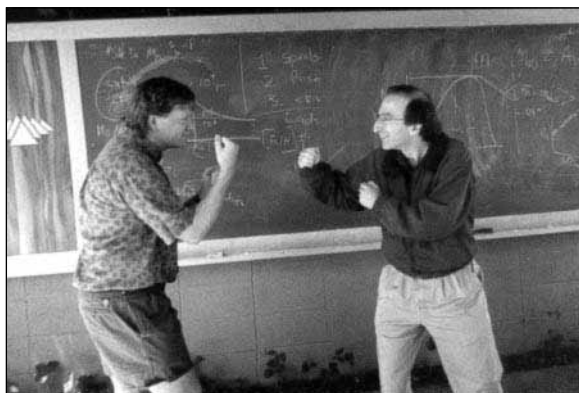


Брайън П. Шмит



Адам Дж. Рийс

Каква ще бъде окончателната съдба на Вселената? Ако вярваме на тазгодишните лауреати на Нобеловата награда за физика, тя вероятно ще завърши вледенена. Те изследваха няколко десетки взривили се звезди, наричани Свръхнови, и откриха, че Вселената се разширява все по-ускорено. Откритието бе напълно изненадващо дори за самите лауреати.



Брайън Шмит и Сол Пърлмутър

През 1998 г. космологията бе разтърсена из основи от откритията на два изследователски колектива. Единият от тях, оглавяван от Сол Пърлмутър, започва работа през 1988 г. Другият бе създаден в края на 1994 г. и оглавен от Брайън Шмит. В него Адам Рийс играе ключова роля.

Двата колектива се надпреварват да картографират Вселената чрез откриване на най-далечните свръхнови звезди. По-съвършените наземни и космически телескопи, както и по-мощ-

ните компютри и новите цифрови приемници за изображения (CCD, Нобелова награда по физика за 2009 г.) дават възможност през 90-те години на XX век да се добавят още късчета към космическата мозайка.

Колективите изследват специален тип Свръхнови, наречени Свръхнови от тип Ia. Те са резултат от взривяването на стари компактни звезди с маса колкото масата на Слънцето, но с размерите на Земята. Една единствена такава Свръхнова може да излъчва толкова светлина, колкото цяла галактика. Двамата изследователски колектива откриват над 50 далечни Свръхнови, чиято светлина обаче се оказва по-слаба от очакваното – това е указание, че разширяването на Вселената се ускорява. Възможните капани пред учените са били многобройни, но екипите добиват увереност от факта, че и двете групи достигат до едни и същи поразителни заключения.

Почти цял век е известно, че като следствие от станалия преди почти 14 млрд. години Голям взрив Вселената се разширява. Откритието, че това разширение се ускорява, е забележително. Ако разширението продължи да се ускорява, краят на Вселената ще бъде ледено студен.

Предполага се, че ускорението се дължи на тъмната енергия, но какво представлява тази тъмна енергия си остава загадка – вероятно най-голямата в днешната физика. Известно е само, че тъмната енергия допринася за около три четвърти от съдържанието на Вселената. Следователно откритията на Нобеловите лауреати за физика през 2011 г. помагат да осъзнаем, че в голяма степен Вселената е все още непозната за науката. И отново всичко е възможно.

Превод: В. Голев

Нобеловата награда за химия се присъжда на Даниел Шехтман (Израел) „за откриванто на квазикристалите“;

Нобеловата награда за медицина и физиология се присъжда на Ралф Стейнмен, Жюл Хофман и Брюс Бейтлер за „за изследванията им на вродения имунитет“;

Нобеловата награда за литература се присъжда на Тумас Транстрьомер (Швеция) за „неговия изключителен принос като писател, обогатил както шведския език, така и световната литература“;

Нобеловата награда за икономика се присъжда на Томас Сарджент (САЩ) и Кристофер Симс (САЩ) за „емпиричните им изследвания на причините и очакванията в макроикономиката“;

Нобеловата награда за мир се присъжда на Елен Джонсън, Леймах Г'бови (Либерия) и Тавакул Карман (Йемен), активистки от движението за защита на правата на жените.

Източник:

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2011/

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2011/press.html

АБОНАМЕНТ И РАЗПРОСТРАНЕНИЕ

Абонамент за 1 година (4 книжки) – 10 лв.

Ако желаете да се абонирате – пишете на worldofphysics@abv.bg

Броеве от списанието можете да намерите на следните места:

София

- Книжарницата на БАН: София 1000, ул. “15 ноември” № 1, тел. (02) 987 97 86
- Книжарницата на Математически факултет на СУ “Св. Климент Охридски”: София 1164, бул. “Джеймс Баучър” 5
- Съюз на Физиките в България, Физически факултет, СУ “Св. Климент Охридски”: София 1164, бул. “Джеймс Баучър” 5, Невенка Веселинова, GSM: 0885 812 473, e-mail: sofiiski_klon@abv.bg или Снежана Йорданова, тел. +359 2 62 76 60, e-mail: upb@phys.uni-sofia.bg

Благоевград

ЮЗУ „Неофит Рилски”, ул. „Иван Михайлов” № 66

Варна

Народна Астрономическа Обсерватория и Планетариум „Николай Коперник”, Приморски парк 4

ЕЛЕКТРОНИКА И ФОТОНИКА НА ВЪГЛЕРОДНИТЕ НАНОТРЪБИ

Фейдън Авурис

Геометрията, механичната гъвкавост и уникалните свойства на пренос на заряди превръщат въглеродните тръби в идеалния заместител на силиция в следващото поколение полени транзистори.

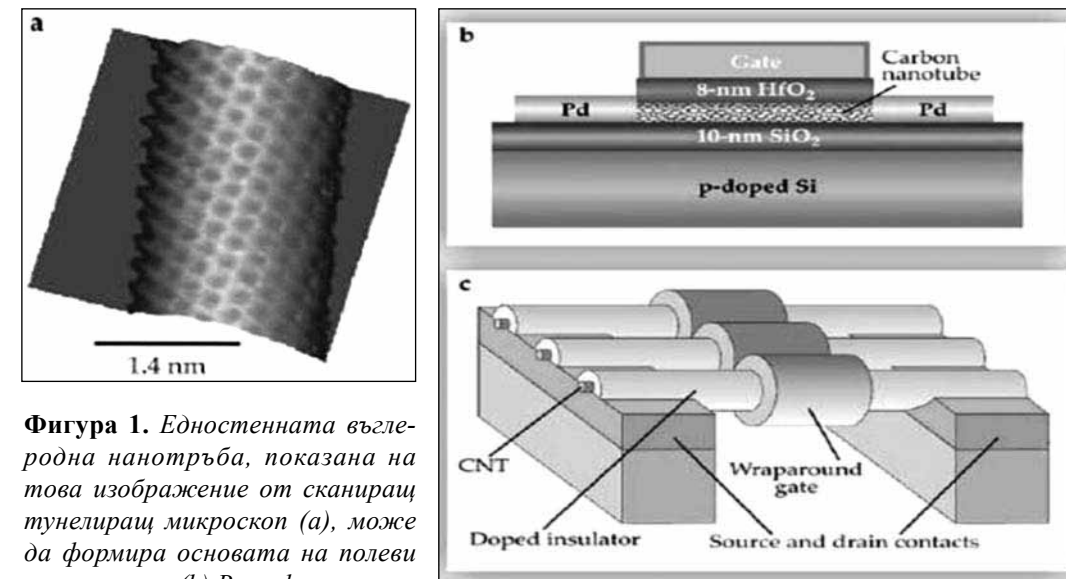
След демонстрацията на първите транзистори през 1947 г., електрониката на изчислителните машини се основава най-вече на един-единствен материал, силиция. Появата на метал-полупроводниковите (MOS) транзистори през 1960 г. и развитието на микролитографията и други методи за производство позволяват непрекъснатата миниатюризация на силициевите прибори. Днешният информационен век става възможен благодарение на по-нататъшното нарастване на плътността и скоростта на превключване и снижаването на цената. За съжаление, поради различни технологични и дори фундаментални физически причини, процесът на миниатюризация достига полезните си граници. В отговор на това, изследователите проучват идеи за логически прибори, основани както на различни принципи на действие, така и на различни материали, чиито свойства могат да осигурят по-нататъшната миниатюризация, както и по-добри работни характеристики.

Особено значима сред алтернативните технологии е електрониката, основана на въглерода. Същата се базира на откриването през 1991г. на въглеродните нанотръби [1] и по-късните изследвания на индивидуални графитни слоеве, т. нар. графени [2]. Можем да си представим едностенната въглеродна нанотръба (ВНТ) като лента от графен, навита около безшевев цилиндър с дебелина един атом. Ширината на лентата определя диаметъра на ВНТ (обикновено 1-2 nm), а посоката на навиване на графена – хиралността на ВНТ. Освен това, повечето от електрическите свойства на ВНТ могат да се изведат от тези на графена след въвеждане на допълнителни гранични условия [3]. И двата материала показват забележителни свойства като балистичния пренос или дифузията пренос с дълъг среден свободен пробег. И двата материала са механически здрави, гъвкави и термопроводими. Но за разлика от графена, полупроводниковите нанотръби имат доста големи забранени зони, които позволяват получаването на големи съотношения на тока във включено и изключено състояние, когато се използват в логически прибори от типа на полевите транзистори.

Структурата на традиционните MOS транзистори е описана в карето. В полевия транзистор с ВНТ силициевият канал е заменен от индивидуална едностенна ВНТ (виж Фигура 1); първите подобни транзистори са докладвани независимо през 1998 г. от групи от Университета в Делфт и Изследователския център “Томас Дж. Уотсън” на IBM (виж статията на Cees Dekker във Physics Today, May 1999, 22) [4].

През последните десетилетия оптоелектрониката е доминирана от III-V полупро-

водниците, особено от галиевия арсенид и сплавите му. През 2002 г. изследователи от Университета Райс наблюдават фотолуминесценция от ВНТ [5], а на следващата година изследователи от IBM докладват за електролуминесценция [6]. Тези по-късни разработки правят възможно базирането както на изчислителната електроника, така и на оптоелектрониката върху един и същ материал; за по-късни обзори виж [3].

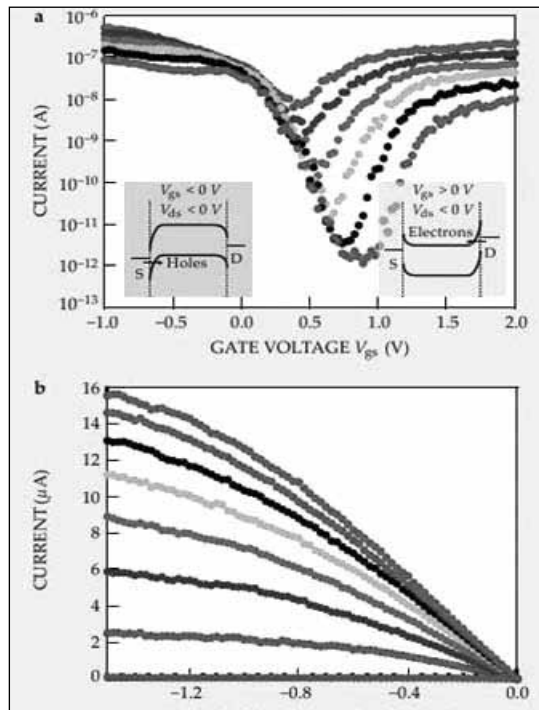


Фигура 1. Едностенната въглеродна нанотръба, показана на това изображение от сканиращ тунелиращ микроскоп (a), може да формира основата на полени транзистор. (b) В конфигурация с гейт отгоре единична нанотръба се поставя в сандвич от два изолационни слоя, в този случай хафниев окис и силициев двуокис. За сорс и дрейн служат паладиеви метални електроди. (Адаптирано от A. Javey et al., Nano Lett. 4, 1319, 2004). (c) В една алтернираща конфигурация изолацията слой и металният гейт са навити около всяка от нанотръбите за оптимизиране на свързването гейт-канал. Сегментите на нанотръбата далеч от гейта са допирани. (Адаптирано от Ph. Avouris et al., [3]).

Една ВНТ има атомна и електронна структура, която ѝ дава уникални предимства като канал на полени транзистор. Нейният малък диаметър, от 1 до 2 nm, подобрява способността на гейта да контролира потенциала на канала, и по-специално тогава, когато гейтът е конфигуриран така, че да се навива около ВНТ. Силната връзка превръща ВНТ в свършената тънклойна полупроводникова система и позволява скъсяването на размерите на полевия транзистор, като избягва ужасяващите “ефекти на късия канал”, където полето на гейта губи, по същество, контрол над прибора.

Това, че във ВНТ всички връзки са наситени и повърхността е атомно гладка, води и до важни последствия. Отсъстват разсейването на електрони поради повърхнинни състояния и грапавостта, която уврежда конвенционалните полени транзистори, особено при високи напрежения на гейта. Забранената зона на полупроводниковата

ВНТ е обратно пропорционална на диаметъра на тръбата [3], което позволява такива тръби да се използват в различни приложения. Както е обсъдено по-нататък, основното предимство е високата мобилност на заряда на ВНТ μ и ниският й капацитет. За типичните работни характеристики като канал на полеви транзистор виж Фигура 2.



Фигура 2. Характеристика на преноса на заряд. (а) Токът I_d в зависимост от напрежението на гейта, измерен от амбиполярен полеви транзистор на базата на въглеродни нанотръби, при намаляване на напрежението дрейн-сорс V_{ds} (отдолу нагоре) от -0.1 V до -1.1 V на стъпки от -0.2 V. Малката фигура вляво показва схематична лентова структура на полеви ВНТ транзистор при отрицателно преднапрежение на гейта и отрицателно преднапрежение дрейн-сорс. Дупки се инжектират във ВНТ от източника (S). Малката фигура вдясно показва обратното: при положително преднапрежение на гейта електрони се инжектират от дрейна (D). (б) Изходни характеристики на ВНТ полеви транзистори, записани като I_d във функция от V_{ds} . Отдолу нагоре V_{gs} варира от $+1$ V, изключеното състояние на полевия транзистор, до -2.5 V, включеното състояние, на стъпки от -0.5 V. (Адаптирано от Ph. Avouris et al., [3]).

“Простата” замяна на силициев канал с ВНТ драстично променя физиката на прибора. Квази-едномерният характер на ВНТ, силното ограничаване в пространството на електроните, наноразмерната ширина и силната ковалентна връзка влияят съществено върху свойствата на електрическия и топлинен пренос на канала. Както химията на контактите метал-въглерод, така и взаимодействието на изолаторите с ВНТ и чувствителността на тези структури с едноатомна дебелина към въздействията на околната среда пораждат изумителни предизвикателства и предлагат изключителни възможности.

Разсейване на носителите

Една от основните причини за използването на ВНТ електроника са отличните им свойства на пренос. Еластичното разсейване на носителите на заряда е слабо, а средните свободни пробези на носителя са дълги – от порядъка на микрометър за чисти ВНТ [3]. Процесите на нееластично разсейване на фонони следователно са с доминираща тенденция. Силата на разсейването зависи от енергията на носителите. При ниски температури и ниско постоянно преднапрежение към електроните могат

да се свързват само акустични фонони, което води до нарастването на една обратна зависимост от температурата на подвижността на носителите в полупроводникови ВНТ. Слабата температурна зависимост в квази-едномерното пространство се дължи на пространствено-фазови ограничения и отсъствието на разсейване под малки ъгли.

В резултат от изискванията за запазване на енергията и импулса и несъгласуването между звуковата скорост на фононите и скоростта на електроните в лентата само малка част от фононите могат да участват ефективно в разсейването във ВНТ. Следствието от това е много високата подвижност на слабо електрическо поле (обикновено около $10\,000\text{ cm}^2/\text{Vs}$), като Майкъл Фюрер от Университета на Мериленд докладва и стойности до $100\,000\text{ cm}^2/\text{Vs}$, дори при стайна температура. Тези стойности се отличават от стойностите за други материали като III-V полупроводниците, чиято подвижност на заряда при ниски температури е висока, но се влошава съществено при стайна температура.

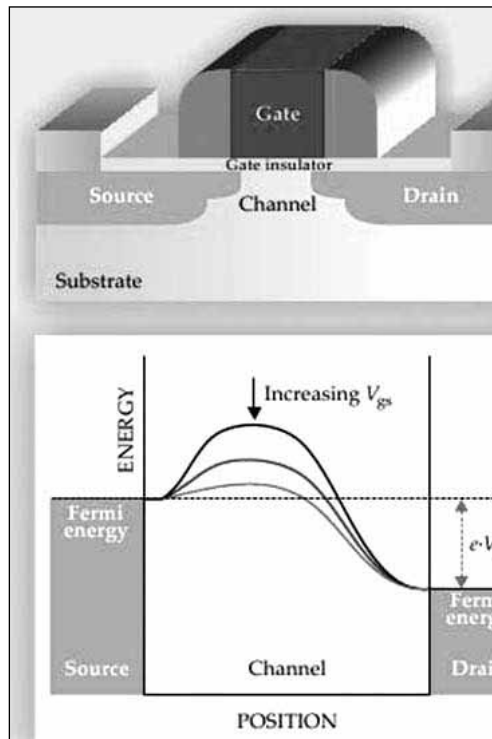
В отличие от разсейването на акустични фонони, разсейването на оптични фонони във ВНТ е много силно. Фононите свиват и удължават връзките въглерод-въглерод, като по този начин силно модулират електронната структура и взаимодействията между електроните и фононите. Но при стайни температури популацията на фононите е пренебрежима, а за да излъчат такъв фонон, електроните трябва да притежават енергии, по-големи от около 160 meV . Това може да се постигне само в условията на високо преднапрежение.

Необичайното е, че при тези високи преднапрежения неравновесни разпределения на фонони могат да се формират от протичането на тока в нанотръби, поради разлики в електрон-фононното взаимодействие между различните фононни модове, голямата разлика във фононните честоти на акустичните и оптичните модове, и слабия топлинен интерфейс между ВНТ и изолационната подложка. При по-нататъшното нарастване на енергията настъпват други нееластични процеси, които водят до възбудени състояния на ВНТ, обсъдени по-нататък.

Принцип на действие на MOS полевия транзистор

Базовата структура на MOS полевия транзистор включва канал, изработен от полупроводник, обикновено силиций, свързан към два електрода: сорс и дрейн. Изолиращ слой, обикновено от силициев двуокис, разделя канала, сорса и дрейна от един трети електрод, наречен гейт (G), както е показано на схемата. Чрез прилагане на напрежение V_{gs} между гейта и сорса проводимостта на полупроводниковия канал може да се модулира. Носителите на заряд (електрони или дупки), преминаващи между сорса и дрейна, срещат енергийна бариера, зависеща от материала и структурата в обема на полупроводника.

Бариерата, показана в енергийния профил във функция от местоположението на канала, се намира в лентата на проводимост за електрона (носител на заряда в полупроводник от n-тип) или в лентата на валентност за дупката (носител на заряда в полупроводник от p-тип). Електрическото поле, генерирано от гейта, на който е



подадено преднапрежение, снижава или повдига бариерата в зависимост от своите направление и сила, като по такъв начин променя проводимостта. Например, едно положително напрежение на гейта снижава бариерата за електрона, а отрицателното напрежение на гейта я повдига. Напрежението дрейн-сорс V_{ds} осигурява управляващата сила, която движи носителите през канала.

Миниатюризацията на MOS полевия транзистор включва намалението на размерите му и захранващото напрежение с един и същи множител a . По такъв начин скоростта на прибора нараства с a , а плътността на приборите, когато са опаковани заедно, с a^2 , като същевременно плътността на мощността остава постоянна.

При доближаване на размерите към нанометърния режим възникват редица ограничения. Две променливи вече са близо до границите си на миниатюризация. Едната от тях е дебелината на изолятора на гейта,

обикновено SiO_2 , която понастоящем е около 1 nm. При по-нататъшно намаляване на тази дебелина, токът на утечка от квантовия тунелен ефект би попречил на превключващото действие на полевия транзистор. Токът на утечка води и до сериозен проблем – прекомерно разсейване на мощност.

Друг параметър, който е трудно да се намали, е работното напрежение V , което обикновено е около 1 V. Динамичната енергия на превключване на прибора се определя от $\frac{1}{2} (C_{\text{dev}} + C_w) V^2$, където C_{dev} и C_w са приносите на капацитетите на прибора и проводниците, съответно. Ако V не намалява, когато размерите на прибора намаляват и опаковането е по-близко, плътността на разсеяната мощност ще нараства. Локално се развиват високи температури, като влошават както работните характеристики, така и експлоатационния срок. Поради това усилено се търсят начини за намаляване на V и пълния капацитет.

За да се поддържа основният принцип на полевите транзистори, т. е. управлението на преноса в канала чрез подаване на преднапрежение на гейта – трябва да се поддържа и известно съотношение между дължината на скрининг λ – мащаба, в който електрическото поле се скринира в полупроводника, и дължината на гейта, L_G . Специфично, L_G трябва да е няколко пъти λ , което зависи от дебелините на канала и окисния изолятор d_c и d_{ox} , съответно, а техните диелектрични константи, ϵ_c и ϵ_{ox} . В планарен полеви транзистор $\lambda = (d_c d_{\text{ox}} \epsilon_c / \epsilon_{\text{ox}})^{1/2}$. Поради това са желателни прибори с

тънки канали, с тънки диелектрици с висока ϵ_{ox} . За да се увеличи ефективната връзка на гейта и канала, оптимална е геометрията, при която металният гейт се навива около канала. В такава цилиндрична геометрия λ е по-къса и зависи по-малко от d_{ox} . Поради тази причина могат да се създадат по-къси прибори и процесът на миниатюризация да продължи.

Инжекция на ток

Полупроводниковите ВНТ, формиращи канали на полеви транзистори, са свързани към метални електроди, обикновено от паладий, злато, титан или алуминий. Разликите в работните функции на метала и ВНТ водят до пренос на заряд в мястото на интерфейса им. Резултантните интерфейсни диполи формират бариер на потенциалната енергия, наричана бариер на Шотки. Подреждането на нивата на Ферми в метала и в ВНТ, и следователно височината на бариера на Шотки, зависят от съответните им работни функции, забранената зона на ВНТ и особеностите на химическите връзки в интерфейса [7].

На всеки от краищата на канала на полевия транзистор съществува по един бариер на Шотки. Когато единият от двата бариера е много по-висок от другия – тяхната сума трябва да е равна на забранената зона – полевият транзистор работи като еднополюсен прибор, което означава, че пренася само един тип носители, електрони или дупки. Например, един метал, като паладий, с висока работна функция би могъл да се използва за формиране на почти безбариерен контакт за дупките. Но тогава инжекцията на електрони ще срещне максималния бариер със стойност, която е близка до забранената зона. Али Джейви и колектив в Станфордския университет са използвали паладий като метал в контакта с ВНТ с диаметър 2 nm и са наблюдавали квазибалистичен пренос в къси ВНТ полеви транзистори от p-тип [8].

Общо взето, токът зависи силно не само от типа на метала, но и от диаметъра на ВНТ. Освен това, тъй като преносът на носители през интерфейса метал-ВНТ се доминира от квантово-механичния тунелен ефект през бариера на Шотки, дебелината на бариера става критична. Но благодарение на подобрения скрининг, осигурен от металния гейт в близост до тънкия окисен слой, и двата бариера на Шотки могат да се изготвят достатъчно тънки, за да позволят инжекцията или на електрони, или на дупки, или и на двете едновременно [7]. Такъв тип транзистор се нарича амбиполярен. Малките фигури, поместени във Фигура 2, показват как прилагането на различни напрежения на гейта превключва инжекцията на електрони или дупки. Дебелината на бариера на Шотки може да се променя чрез допиране на ВНТ в близост до контактите или чрез използването на ВНТ полеви транзистори с многобройни гейтове.

Едномерният характер и структурата с едноатомен слой на ВНТ ги прави уязвими от промени в околната среда. Същинският скрининг е слаб, и прихванатите заряди в изолятора на гейта отнемат електрическите характеристики като праговото напрежение на полевия транзистор. Специфични взаимодействия като пренос на заряд от подложката или абсорбция на различните видове заряди върху ВНТ, металните

електроди или подложката, могат да променят характера на преноса, допирането и съпротивлението [3]. И наистина, такива въздействия върху електрическите свойства на ВНТ представляват основа за разнообразни приложения като сензори.

Реализация и работни характеристики

Ранните ВНТ полеви транзистори са представлявали прости структури, състоящи се от дълъг ВНТ канал, свързан с ван дер Ваалсови сили към металните контакти и с гейта от обратната страна с помощта на самата силициева подложка [3, 4]. Въпреки че са били функционални, същите са имали доста слаби електрически характеристики. Шалом Уинд и колектив подобряват по-нататък тези характеристики чрез полагане на ВНТ в металните електроди и използване на метални гейтове, разположени отгоре, и тънки гейтови изолатори. Джейви, Хонгджие Дай и колектив подобряват още повече свързването канал-гейт и работните характеристики чрез използване на изолатори с висока диелектрична константа като циркониев окис [8]. Впоследствие са разработени голям брой структури за прибори, между които прибори с многобройни гейтове [9] и конфигурации, навити около гейта, изработвани съвместно от IBM и Университета Харвард.

Съотношението на тока във включено и изключено състояние в един ВНТ полеви транзистор обикновено е голямо: 10^4 - 10^6 , което е идеално за логически прибори. Друг важен параметър е транспроводимостта му g_m – зарядът в тока дрейн-сорс I_{ds} се дели на промяната в напрежението на гейта V_{gs} при постоянно напрежение дрейн-сорс. Например, един полеви транзистор с гейт отгоре и с изолатор с висока диелектрическа константа и диаметър на ВНТ около 1.7 nm може да достигне g_m около 30 микросименса [8]. Теоретичната граница е близка до 155 μS , като предоставя широко поле за усъвършенстване.

Друга важна характеристика на работата на полевия транзистор е това, което се нарича подпърагов суинг, $S=dV_{gs}/d\log I_{ds}$, и описва напрежението, необходимо за формиране на промяна във величината на тока от един порядък. Конвенционалните полеви транзистори изискват изменение в потенциала на канала от минимум 60 mV при 300 K, за да предизвикат такова изменение, а минималният подпърагов суинг поставя по-ниска граница върху работното напрежение и следователно върху разсейването на мощност в конвенционалните полеви транзистори. Изследователите са постигнали тази термодинамична граница във ВНТ полевите транзистори чрез премахване на бариерите на Шотки в приборите с двоен гейт [9] или чрез допиране на контактите. Още по-важно е това, че работата в Изследователския център “Томас Дж. Уотсън” показва, че тази граница може да бъде преодоляна. Използвайки предимствата на тунелния ефект от зона до зона, Йорг Апенцелер и колектив са показали, че електронното разпределение може да се филтрира с оглед отстраняване на електроните с висока енергия и намаляване на подпъраговия суинг [3].

Високоскоростните прибори, разбира се, са ключова цел на цялостните усилия. Да разгледаме един типичен параметър на честотната характеристика на конвенционалните транзистори, граничната честота $g_m/2\pi C_{gs}$. Използвайки 5 aF като типичен гейт-сорс капацитет C_{gs} и $g_m \approx 10$ -20 μS за ВНТ полеви транзистор с дължина 100

nm, получаваме гранична честота от порядъка на 1 THz [3]. Директното измерване на толкова високи честоти е трудно поради разсъгласуването в импедансите на ВНТ полевите транзистори и измерителните системи. Непреките измервания на единични ВНТ полеви транзистори показват, че работните им характеристики понастоящем се ограничават от паразитния капацитет на контурите.

ВНТ могат да помогнат и за облекчаване на проблема на разсейване на мощност, който ограничава миниатюризирането на MOS полевите транзистори. За динамичното превключване на прибор се изисква енергия от $\frac{1}{2}(C_{dev}+C_w)V^2$, където C_{dev} и C_w са приносите на капацитетите на прибора и проводниците, съответно. Едно първично предимство на ВНТ полевите транзистори пред MOS полевите транзистори са много по-ниските стойности на техния капацитет, грубо 0.05 aF/nm. Внимателното проектиране, при все това, трябва да обезпечи паразитният капацитет и C_w , обикновено 0.2 aF/nm, да не превишава C_{dev} , както това може да стане, например, когато проводниците са дълги. Разсейването на мощност може да се снижи и чрез намаляване на захранващото напрежение V_{dd} (мощност $\propto fV_{dd}^2$, където f е работната честота). Обаче V_{dd} не може да се намалява произволно. Работната характеристика, $\tau = 1/f$, се влошава при намаляване на V_{dd} . Поради това съществува оптимално V_{dd} за дадена f .

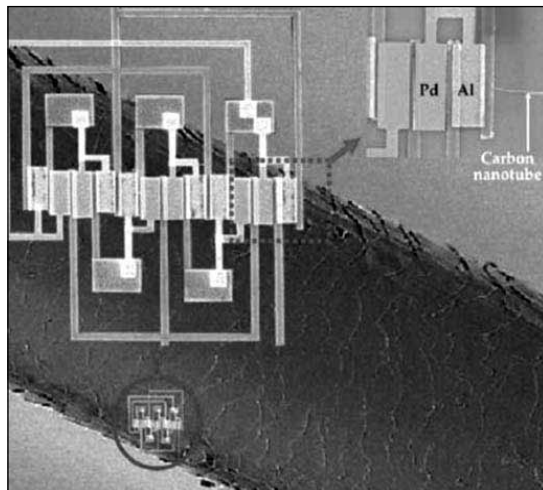
Интегрални схеми

Производството на прибори на основата на ВНТ е отишло отвъд простите транзистори и сега включва логически гейтове и по-сложни структури като ринг осцилатори [3]. Осцилаторите се състоят от нечетен брой двойки полеви транзистори от р– и n-тип, изработени чрез подходящо допиране на ВНТ. Контролираното допиране в наноразмерните прибори обаче е трудно и флуктуациите в броя и положението на допантите могат да окажат значителен ефект върху работните характеристики на прибора.

За щастие, амбиполярното поведение на недопирана ВНТ може да се използва за реализация на CMOS архитектура. Един CMOS логически прибор се формира чрез използване на двойка транзистори от р– и n-тип, работещи в условия, при които единият полеви транзистор е включен, а другият – изключен. Амбиполярните характеристики на ВНТ полевия транзистор обезпечават двойка от р– и n-тип клонове. Но клонът на утечката на единия тип има ниво на тока, сравнимо с основния клон на другия. Контролирането на праговото напрежение в един амбиполярен прибор следователно представлява ключът към постигане на р– и n-тип характеристики, подходящи за CMOS логика. Праговото напрежение може да се контролира чрез настройка на работната функция на металния гейт във всеки полеви транзистор; работната функция на гейта може да се разглежда като допълнителен източник на напрежение, добавен към V_{gs} . Когато металите са правилно подбрани, техните различни работни функции отменят характеристиките на клоновете от р– и n-тип до генериране на различимо включено състояние в един от ВНТ полевите транзистори, и изключено състояние в другия.

Този подход е използван от Жихонг Чен и колектив от IBM за изработка на най-сложните електронни структури досега, базирани на единична ВНТ. Фигура 3 показва

изображение от сканиращ електронен микроскоп на петостъпален ринг осцилатор, в който за металния гейт на полевия транзистор от р-тип е избран паладий, а за полевия транзистор от n-тип – алуминий.



Фигура 3. Петостъпалният ринг осцилатор, показан на тези изображения от сканиращ елек-

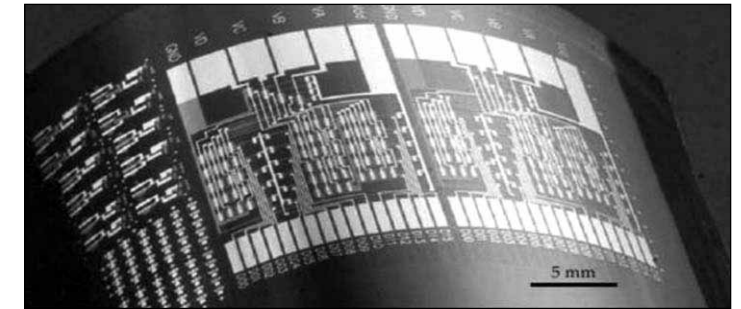
тронен микроскоп, се състои от 10 полевия транзистора, изцяло вградени в едностенна въглеродна нанотръба с дължина 18 μm . Изображение на човешки косъм в дъното дава представа за относителния мащаб при най-малкото увеличение на изображението (оградено). Изображения с по-голямо увеличение разкриват повече детайли, като нанотръбата се вижда горе вдясно. За да се получат и двата типа, р- и n- полевия транзистори, върху една и съща ВНТ, се подбират метали с различни работни функции като гейтове – паладий (Pd) за полевите транзистори от р-тип, и алуминий (Al) – за полевите транзистори от n-тип. Окисът на гейта е Al_2O_3 , а честотата на ринга е 70 MHz при 1 V. (Адаптирано от Z. Chen et al., Science 311, 1735, 2006).

Независимо от забележителните работни характеристики на единичните ВНТ полевия транзистори, практическата им реализация среща многобройни препятствия. Основното от тях е хетерогенността на така подготвените ВНТ смеси. В последните години се появиха синтетични методи за производство на ВНТ и хирални разпределения с още по-малки диаметри.

Една електронна технология, заобикаляща донякъде проблема за хетерогенността е тази на тънкослойните ВНТ транзистори (TFT), въведени от Ерик Сноу и колектив през 2003 [10]. Слой от случайно ориентирани ВНТ се отлага върху изолатор и електродите се оформят върху него. Очаква се целокупното осредняване да коригира хетерогенността на слоя. Присъствието на метални ВНТ в сместа поставя обаче проблем, тъй като същите имат склонност към скъсяване на канала на полевия транзистор.

За да се предотврати проблемът, каналът се прави по-дълъг от средната дължина на ВНТ, така че единична тръба да не може да образува мост над процепа сорс-дрейн. Произтича пренос на заряд по “перколационни пътеки”, и превключването включва многобройни връзки тръба-тръба. Методът постига разумно високи съотношения на тока във включено и изключено състояние, но на цената на нарастване на съпротивлението на канала и вследствие на това, формиране на ниски управляващи токове. Подвижността на носителите също драстично намалява, въпреки че остава по-висока от тази на типичните органични TFT. Освен това, нанотръбите могат да се отлагат при ниски температури върху разнообразни подложки за различни приложения, едно от които е представено на Фигура 4.

Фигура 4. Тънкослойните транзистори с въглеродни нанотръби на това оптично изображение на интегрална схема са бондирани към гъвкава пластмасова повърхност. (Адаптирано от Q. Cao et al., [10]).



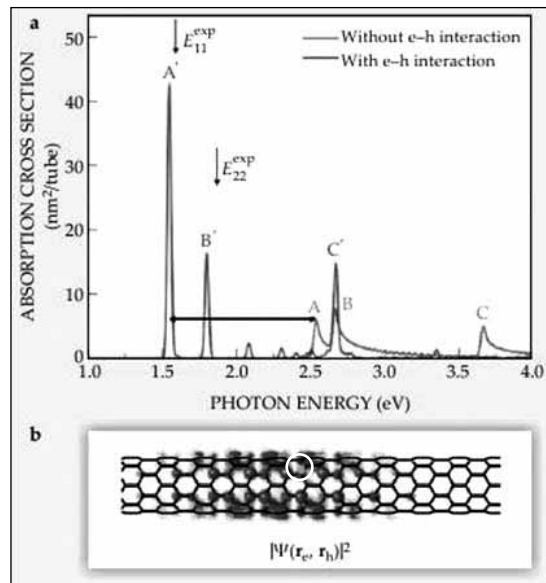
Един от подходите за подобряване работните характеристики на TFT е да се използват изцяло полупроводникови ВНТ в слой. Друг подход е да се използват силно ориентирани ВНТ, което снижава броя на преходите тръба-тръба с високо съпротивление, преобладаващи в случайно ориентирани ВНТ. Изследователи от Изследователския център “Томас Дж. Уотсън” и Северозападния университет неотдавна реализираха такива подобрения в техните слоеве и понастоящем могат да се постигнат едновременно и високи управляващи токове (до милиампери), и значителни съотношения на тока във включено и изключено състояние (грубо 10^4). Подвижността за TFT е висока, но все още остава значително по-ниска от тази за единични (едностенни) ВНТ прибори.

Анализът на тези резултати предполага, че остават поне два проблема. Във словете все още съществува разпределение на диаметрите на тръбите, и следователно – забранени зони. Това води до разпръснатост в стойностите на праговото напрежение за превключване на тока в различните тръби. Освен това, високите токове изискват висока плътност на ВНТ, но близко разположените нанотръби имат склонност към взаимодействие и екранират полето на гейта.

Възбудени състояния

Изучаването на възбудените състояния на ВНТ е допринесло в голяма степен за нашето разбиране на електронната структура и взаимодействията на ВНТ, и е отворило врата към нови приложения [11]. По-рано, електронните възбуждания на ВНТ са обсъждани в контекста на модела на единичната частица, като преходи между съответните двойки от т. нар. сингулярности на ван Хоф в едномерната плътност на състояния, формиращи свободни двойки електрон-дупка. Обаче, както е показано от Цунейя Андо, по време на работата му в Токийския университет през 1997 г., електрон-електронните взаимодействия в едномерна система би следвало да са силни и взаимодействията следва да формират свързани състояния, познати като екситони, под континуума на свободните частици. Изчисления, основани на първи принципи, от Стивън Луи и колектив в Университета на Калифорния, Бъркли, са показали, че енергиите на свързване на екситоните в нанотръби обикновено са големи (от порядъка на един eV). Екситоните носят по-голямата част от силата на осцилатора и, следователно, трябва да доминират спектъра на поглъщане (виж Фигура 5) [12].

Предвижданията са потвърдени чрез спектроскопия с двуфотонно възбуждане от



Фигура 5. (а) Изчисления *ab initio* на спектрите на поглъщане на едностенна въглеродна нанотръба. Взаимодействията електрон-дупка

(*e-h*) са включени в единия случай (в червено), но не и в другия (в синьо). Разликите в енергията и интензитета на трите най-ниски междудонови прехода (*A, B, C*) и съответните екситоновы състояния (*A', B', C'*) показват подчертания ефект на силно свързаните двойки електрон-дупка в нанотръба. E_{11} и E_{22} означават енергиите на преход, експериментално наблюдавани с използването на светлина, поляризирана по дължината на оста на нанотръбата. Разликата в енергията между пълните червени и сини пикове (посочени с черната хоризонтална стрелка) дава енергията на свързване на първия екситон.

(*b*) Изображение в реалното пространство на разпределението на вероятността на двойката електрон-дупка, $|\Psi(r_e, r_h)|^2$ във функция от местоположението на електрона r_e , където местоположението на дупката r_h (оградена в бяло кръгче) е фиксирано. (Адаптирано от [12]).

групата на Тони Хайнц в Университета на Колумбия и групата на Кристиан Томсен в Техническият университет на Берлин [13]. Енергиите на свързване на екситоните на полупроводникови ВНТ зависят обратно пропорционално на диаметъра им, за разлика от случая на обемните полупроводници, и зависят и от скрининга, обезпечен от средата, в която са положени ВНТ [11].

Експерименталните изследвания на възбудени състояния на нанотръби стартират сериозно едва през 2002 г., когато Брус Вайцман и колектив в Райс наблюдават фотолуминесценция от ВНТ, обвити в повърхностно активни вещества и индивидуално диспергирани в разтвор [5]. По-ранните опити са били затруднени от ефектите на агрегация и едновременното съществуване на метални и полупроводникови ВНТ, като първите действат като луминесцентни гасители. След като условията за луминесценция са вече установени, областта бързо се разраства. Едно от ключовите приложения е била идентификацията на структурата на излъчващи ВНТ. Чрез мониторинг на интензитета на луминесценцията във функция от честотата на лазера учените могат да определят спектрите на възбуждане на индивидуални тръби и да изведат тяхната структура [5].

След наблюдението на фотолуминесценция от ВНТ, разпадът на техните възбудени състояния се превръща в активно поле на изследвания. Измерената продължителност на флуоресценцията при стайна температура от дисперсии на ВНТ е в обхвата от 10 до 100 ps, независимо че теорията предсказва времена на живот на излъчване на ВНТ от 1 до 10 ps. Докладваните квантови добиви на флуоресценция, Q , също са ниски,

но съществуват значителни неточности в стойностите им [11]. Обаче, независимо от липсата на точни стойности за Q е ясно, че във ВНТ протичат такива бързи безизлъчвателни процеси на разпад.

Друг резултат от силните електрон-електронни взаимодействия във ВНТ е този, че израждането на едночастичните състояния се премахва частично, което води до нови екситонни състояния. Преходът към най-ниското енергетично състояние е показан от теорията и експеримента като “тъмен” – т. е. диполно забранен. Прихващането в тъмното екситонно състояние може да е отговорно за наблюдавания нисък добив. Обаче енергийното разделение на тъмни и светли екситони, определено от Джуничиро Коно и колектив в Райс, е твърде слабо, за да обясни ниския Q . Неотдаващите теоретични работи в Изследователския център “Томас Дж. Уотсън” предсказват два бързи ВНТ канала на разпад: многофотонен разпад на прихванати екситони, и един нов, фононно асистиран, път на електронен разпад [14]. Последният става възможен чрез допиране на ВНТ посредством взаимодействия чрез пренос на заряд с неговото обкръжение или чрез външни полета.

Фотолуминесцентната статистика на отделни ВНТ също е интересна. Неотдаващо изследване на Атак Имамоглу и колектив в ЕТН Цюрих открива доказателство за антигрупировка на фотоните – откритие, което може да доведе до използването на ВНТ като източници на единични фотони в квантовата криптография.

Електролуминесценция

От перспективата на приложенията във фотониката, едно от ключовите открития е било това, че излъчването на светлина от ВНТ може да се постигне чрез пропускането на ток през тях [6]. Както бе отбелязано по-рано, ВНТ полевите транзистори имат склонност към амбиполярност, като по такъв начин токовете от електрони и дупки могат да текат едновременно. Когато тези електрони и дупки рекомбинират, една част от рекомбинационните явления излъчват фотон и така пораждат електролуминесценция. Електролуминесценцията се използва широко за производство на твърдотелни източници на светлина от типа на светодиодите.

Обикновено електролуминесценцията се генерира в близост до интерфейса между материал, допиран с дупки, и материал, допиран с електрони. Но в амбиполярните ВНТ допиране не е необходимо, което опростява изработката на светодиоди. Още по-интересно е, че електролуминесценцията от дълги ВНТ не произлиза от фиксирана точка, но може понастоящем да се транслира по желание чрез прилагане на подходящо преднапрежение на гейта [6]; преднапрежението на гейта определя позицията, в която протича рекомбинацията електрон-дупка в същинския материал. Енергията E на електролуминесценцията е същата като тази на фотолуминесценцията на ВНТ, и следователно може да се регулира чрез използване на различни диаметри d , като оттук E_{EL} е пропорционална на $1/d$.

Друг механизъм, по който токът може да възбуди електролуминесценция, включва наличието на горещи носители във ВНТ. В еднополярна ВНТ при високо предна-

прежение, носителите могат да достигнат много високи енергии и, поради силните кулонови взаимодействия помежду си, могат да индуцират ударно възбуждане и йонизация [15]. В обемните твърди тела йонизацията е главният индуциран процес, но в квазиедномерните ВНТ с високи енергии на свързване на екситони неутралното възбуждане доминира. Обикновено емисията е локализирана на местата с дефекти, където падовете на напрежение осигуряват достатъчно енергия на носителите да надвишат прага на възбуждане. По-важното е, че можем да подберем мястото на емисия чрез създаването по дължината на ВНТ канала на потенциална разлика – например, чрез локално модифициране на взаимодействието между гейта и ВНТ [15].

Електролуминесценцията от ВНТ е широка и ненаочена. Но повечето приложения в оптоелектрониката, като оптичските взаимовръзки, изискват тесен, насочен светлинен лъч. Фенгнян Ксиа и колектив от IBM неотдавна постигат този ефект чрез ограничаване на единична ВНТ в планарна фотонна полуълнова микрокухина. В тази конфигурация фактът, че тръби с различни диаметри в един образец имат леко отличаващи се енергии на излъчване, става по-маловажен, тъй като резонансната дължина на вълната се определя от структурата на самата кухина.

Фотопроводимостта, по същество обратна на електролуминесценцията, протича тогава, когато оптичското излъчване формира свободни електрони и дупки в даден материал. Процесът е наблюдаван за пръв път във ВНТ в Изследователския център “Томас Дж. Уотсън” през 2003г., но оттогава насам са се появили много изследвания [11]. Един и същ ВНТ прибор с полеви транзистор може да се използва като транзистор, фотопревключвател, излъчвател на светлина или фотодетектор.

В конфигурация с отворен контур вътрешните електрически полета могат да разделят електроните от дупките и да генерират фотонапрежение. Фотоволтаичната образна микроскопия може да осигури изображения на електрически полета по дължината на ВНТ като тези при бариерите на Шотки или заредени дефекти.

На хоризонта

Благодарение на уникалните си свойства, полупроводниковите нанотръби могат да създадат основа за изключително малки, бързи и гъвкави транзисторни схеми. Приборите на базата на ВНТ са молекулни; следователно в бъдеще е възможно едно просто и евтино самоасемблиращо се производство. Транзистори с химически модифицирани ВНТ вече се използват като чувствителни и селективни химически и биологически сензори. Източниците на светлина и детекторите на базата на ВНТ могат да породят вътрешчипова оптическа комуникация и едномолекулна спектроскопия. А отличната електропроводимост на металните ВНТ може, в края на краищата, да позволи разработката на електронни системи, в които и активните прибори и пасивните вътрешни контакти са на основата на ВНТ. Непрекъснатата интеграция на оптически и твърдотелни прибори би могла да постави началото на унифицирана електронно-оптоелектронна технология, базирана на ВНТ, а големите спин кохерентни дължини във ВНТ също биха могли да доведат до появата на квантовоинтерференчни и спинтронни прибори.

Колко скоро можем да очакваме подобни разработки? Основната пречка е в производството на големи количества идентични наноструктури. Получаваните нанотръби са с различни размери и структури и понастоящем не съществува надежден начин за директно производство на какъвто и да е тип ВНТ, необходим за големи интегрални системи. Съществуват обещаващи знаци, които подсказват, че това може да се промени. Разделянето на единичен тип ВНТ от смеси вече е успешно. Изследователите, които изучават самоасемблирането на ВНТ прибори, докладват окуражителни резултати.

Еволюцията не може да се характеризира като едно нарастващо усъвършенстване на съществуващата технология, включено в миниатюризацията на силициеви прибори. То обединява фундаментални изменения в материалите, обработката, методите на монтаж и физическите принципи. Развитието на технологията на ВНТ зависи, както всичко друго в индустрията, от анализа на рентабилността и неочакваните пробиви. Обаче изучаването на ВНТ вече ни предоставя уникален поглед към физиката и химията на наноматериалите.

Библиография

1. S. Iijima, *Nature* **354**, 56 (1991).
2. K. S. Novoselov et al., *Nature* **438**, 197 (2005).
3. A. Jorio, M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, eds., *Carbon Nanotubes: Advanced Topics in the Synthesis, Structure, Properties, and Applications*, Springer, New York (2008); Ph. Avouris, Z. Chen, V. Perebeinos, *Nat. Nanotechnol.* **2**, 605 (2007).
4. S. J. Tans, A. R. M. Verschueren, C. Dekker, *Nature* **393**, 49 (1998); R. Martel et al., *Appl. Phys. Lett.* **73**, 2447 (1998).
5. M. J. O'Connell et al., *Science* **297**, 593 (2002); S. M. Bachilo et al., *Science* **298**, 2361 (2002).
6. J. A. Misewich et al., *Science* **300**, 783 (2003); M. Freitag et al., *Phys. Rev. Lett.* **93**, 076803 (2004).
7. R. Martel et al., *Phys. Rev. Lett.* **87**, 256805 (2001); S. Heinze et al., *Phys. Rev. Lett.* **89**, 106801 (2002).
8. A. Javey et al., *Nature* **424**, 654 (2003); A. Javey et al., *Nat. Mater.* **1**, 241 (2002).
9. Y.-M. Lin et al., *IEEE Trans. Nanotechnol.* **4**, 481 (2005).
10. J. Novak et al., *Appl. Phys. Lett.* **83**, 4026 (2003); Q. Cao et al., *Nature* **454**, 495 (2008).
11. Ph. Avouris, M. Freitag, V. Perebeinos, *Nat. Photonics* **2**, 341 (2008).
12. C. D. Spataru et al., *Phys. Rev. Lett.* **92**, 077402 (2004).
13. F. Wang et al., *Science* **308**, 838 (2005); J. Maultzsch et al., *Phys. Rev. B* **72**, 241402 (2005).
14. V. Perebeinos, Ph. Avouris, *Phys. Rev. Lett.* **101**, 057401 (2008).
15. J. Chen et al., *Science* **310**, 1171 (2005); V. Perebeinos, Ph. Avouris, *Phys. Rev. B* **74**, 121410 (2006).

Phaedon Avouris, „Carbon nanotube electronics and photonics”,
Physics Today, January 2009, 34-40
Превод от английски: Елена Кръстева

СТО ГОДИНИ СВРЪХПРОВОДИМОСТ

М. Бушев

Встъпление

През 2011 г. се навършват 100 години от откриването на свръхпроводимостта¹ от холандския физик Хейке Камерлинг Онес. Един век по-късно това е все още една от най-активно разработваните области във физиката на кондензираната материя, която продължава да поднася нови изненади както в непрестанно разширяващата се област на приложенията, така и в развитието на плодотворни теоретични методи.

Историята на науката е пълна с изненадващи съвпадения. През 1911 г. едновременно с откритието на СП, Ърнест Ръдърфорд, основавайки се на своите опити по разсейване на α -частици, открива планетарния модел на атома – положително заредено ядро, около което обикалят отрицателно заредени електрони. За да обясни защо ускореното движение на електроните не излъчва (и не затихва), Нилс Бор формулира своите квантови постулати.

Едва ли някой е допускал, че двете открития – на СП и на атомния строеж – ще се окажат с еднаква по своята същност **квантова** природа. И ако има разлика, то тя е в мащабите – СП е квантов ефект в макромашаб, докато атомните орбити представляват микроявление. Така например квантуването на тока в СП пръстен е същото като атомните орбити, но в макромашаб.

СП безусловно е най-яркият представител на **физиката на ниските температури** (ФНТ). Заедно с другото „свръхявление“ – свръхфлуидността – тя се свързва с температури, които са много по-близки до абсолютната нула ($0^\circ\text{K} = -273.15^\circ\text{C}$), отколкото до температурата на замръзване на водата и още повече до обичайните стайни температури. И точно затова особено изненадващи са стремежите на физиците да постигнат СП при стайни температури. На пръв поглед е парадоксално, че най-типичното нискотемпературно явление, СП, може да се окаже вън от областта на ФНТ.

В действителност, колкото и високи да станат температурите, при които възниква СП, това явление ще си остане нискотемпературно. В това няма нищо странно. Причината е, че ФНТ изучава свойствата на веществото при такива температури, при които неговите **квантови свойства** се проявяват в макромашаби. Понятието „температура“ има смисъл само за макросистеми. Затова ФНТ е другият начин да говорим за **квантова макрофизика**. Така че всяка макросистема, в която се проявяват квантови закономерности, е обект на нискотемпературната физика – колкото и „високи“ да са характерните за явлението температури. Така например критичната температура, при която една неутронна звезда преминава в свръхфлуидно състояние, е от порядък $T_c = 10^{11} \text{ K}$ (!). Това също е „ниска“ температура.

¹ Занапред със СП ще означаваме „свръхпроводимост“ и производните „свръхпроводник“ и „свръхпроводящ“.

1.1. По пътя към абсолютната температурна нула

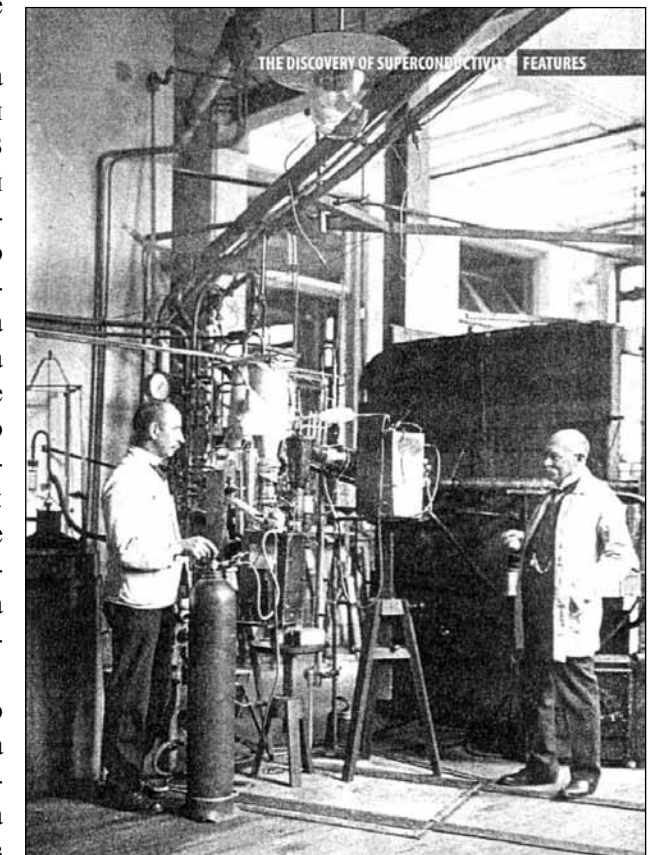
Топлинните движения на атомите на веществото маскират квантовите ефекти. Нужни са ниски температури, за да се проявят квантовите свойства. Именно затова зараждането на квантовата макрофизика започва с дългата и трудна сага по пътя към абсолютната нула.

Към 70-те години на 19 в. много от познатите газове са втечнени посредством повишено налягане. Фарадей пръв се убеждава, че наред със свиването на газа трябва да се понижава и температурата под определена критична за газа температура T_c . По този начин са получени течен кислород ($T_c = 90.2 \text{ K}$), течен азот ($T_c = 77.4 \text{ K}$) и едва през 1898г. е втечен водородът ($T_c = 20.4 \text{ K}$).

Още по-ниска се оказала температурата на втечняване на открития едва през 19-ти в. газ хелий. Той бил втечен през 1908г. от холандския физик Хейке Камерлинг Онес в криогенната лаборатория на Лайденския университет (**Фиг.1**). Така във физиката стават достъпни температурите от областта на 1 K.

Това не е самоцелна гонитба на рекорди. Дълбоката мотивация е посочена от самия Кам. Онес. В Нобеловата си лекция (1913г.) той казва: „По такъв начин се повдига завесата, с която топлинното движение при обичайните температури прикрива от нас света на атомите и електроните.“ И, за да не остави никакво съмнение относно очакванията спрямо този нов свят на ниските температури, Кам. Онес продължава: „Учението на Планк за квантите изведе в предния край на физиката интереса към измерванията при възможно най-ниските температури.“

Забележително е, че докато самите създатели на квантовата теория все още схващат и развиват тази теория като теория на микросвета, Кам. Онес вижда в нискотемпературната физика поле за развитието на квантовата теория на макроскопичните системи.



Фиг. 1. Шефът на Лайденската криогенна лаборатория Герит Ян Флим (вляво) и Хейке Камерлинг Онес пред хелиевия втечител (1920 г.)

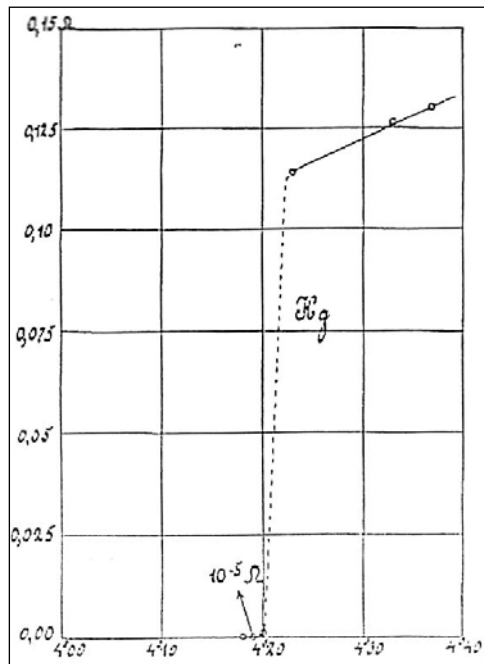
1.2. Откритието (1911 г.)

С получения течен хелий Кам. Онес успява (1910 г.) да достигне температура 1.04 К т.е. само 1 градус над абсолютната нула. Тогава започва да изследва при тези температури физическите свойства на различни вещества (живак, калай, олово и мн. др.).

Една от основните характеристики на металите е електричното съпротивление. Въпросът за температурната зависимост на тази величина имал два противоположни отговора. Паул Друде предсказвал линейно намаляване на съпротивлението с температурата, докато лорд Келвин предсказвал, че при хелиевите температури проводящите електрони в метала ще „замръзват“ и при абсолютната нула електросъпротивлението ще стане безкрайно.

Когато избира живак за това изследване, Кам. Онес се ръководи от съображението, че посредством дистилация може да се получи извънредно чист образец. Последният бил поместен в система от свързани капилари.

На 8 април 1911 г. експериментът показал, че при $T=4.2\text{K}$ електросъпротивлението на живака **със скок** пада до нула (Фиг. 2). Ученият записал: „Не остава съмнение, че



Фиг. 2. Историческата графика на съпротивлението (Ω) в зависимост от температурата (K) за живака (26 окт. 1911 г.). Вижда се, че СП преход става при 4.2 K. В температурния интервал 0.01 K съпротивлението скача от 0.01 Ω до по-малко от $10^{-5}\Omega$

живакът преминава в ново състояние, при което съпротивлението фактически изчезва... Поради неговите необикновени електрични свойства това състояние може да се нарече свръхпроводящо.”

Това е рождената дата на СП. Забележително е, че ученият е избрал по рядко сполучлив начин името на новото явление, така че вече 100 години то се запазва при всичките многобройни развития и последващи открития.

Но дали електросъпротивлението на свръхпроводника изчезва напълно при отлична от 0K температура? Положителният отговор е даден близо половин век по-късно (Дж.Колинс, 1962 г.): ток, индуциран в СП пръстен, е циркулирал 2.5 години без никакви признаци на затихване. Няма съмнение, че СП е идеална проводимост. Но това явление е нещо повече от идеална проводимост и именно затова избраното от Кам. Онес название го прави така сполучливо.

Откритието на СП поражда лавина от експерименти: открити са нови СП вещества (в днешно време те са хиляди), изследвани са техните физически свойства. СП се оказва

комплекс от множество резки аномалии – не само на електричните, но и на топлинните, магнитните, оптичните и ред други свойства.

Наред с това са правени многобройни опити да бъде намерено теоретично обяснение на СП. След редица междинни успехи това става възможно едва през 1957 г. Така се дава началото на още много други открития, свързани със СП.

През 1913г., само две години след откриването на СП, Камерлинг Онес получава Нобеловата награда „за неговите изследвания на свойствата на веществата при ниски температури и за получаването за първи път на течен хелий”.

През изтеклите 100 години пет пъти са присъждани Нобелови награди за постижения в изследването на СП.

II. Двадесет години по-късно

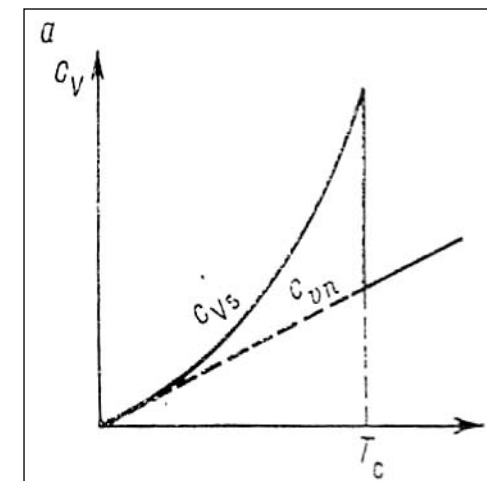
II.1. Свойства, критични характеристики

Откритието на Камерлинг Онес поставя началото на широк фронт от експериментални изследвания върху СП. Оказало се, че много от чистите метали и сплавите са свръхпроводници. В днешно време са известни няколко хиляди СП материали. Общото между всички тях е, че: (а) СП възниква със скок при определена за всеки материал температура (наречена „критична” T_c); (б) редица добри при високи температури проводници (Cu, Au, Ag) изобщо не преминават в СП състояние (емпирично правило: „добрите” проводници са „лоши” свръхпроводници, а „лошите” проводници се оказват „добри” свръхпроводници); (в) магнитните метали (Fe, Co, Ni) не са свръхпроводници; (г) примесите (немагнитни) не само не унищожават СП, но обикновено слабо влияят върху T_c (докато при нормалните метали примесите увеличават електросъпротивлението).

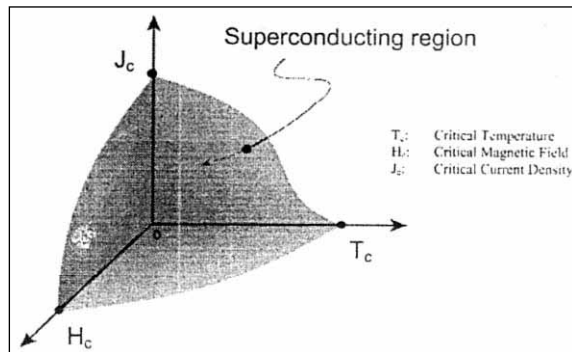
За всички известни до 1986г. свръхпроводници критичните температури варират от 0.01 K (чист волфрам) до 9.25 K (чист ниобий), а най-висока е критичната температура на пластини от съединението Nb_3Ge ($T_c=23.2\text{K}$).

Изучаването на топлинните свойства показва, че преходът в свръхпроводящо състояние е фазов преход от втори род, т.е. без отделяне или поглъщане на топлина, но със скок на специфичната топлина (Фиг. 3) на други втори производни от термодинамичните функции.

СП може да се разруши от външно магнитно поле или от силен електричен ток. Трите критични стойности – на температурата



Фиг. 3. Скок на специфичната топлина при преход в СП състояние

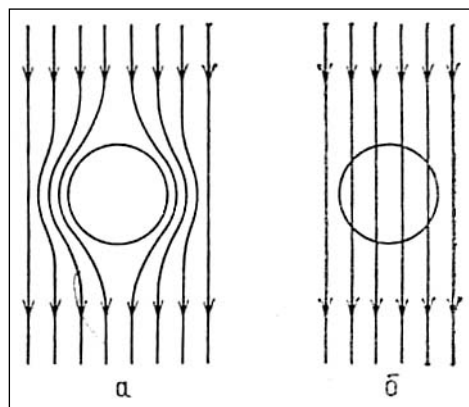


Фиг. 4. Критични параметри – магнитно поле H_c , температура T_c и плътност на тока, определящи областта на СП състояние

Основната част от свръхпроводниците са не чисти вещества, а сплави и съединения. При някои СП сплави (CuS , Au_2Bi) компонентите поотделно може да не са СП или критичната температура на сплавта е по-висока от тази на нейните компоненти.

II.2. Ефект на Майснер (идеален диамагнетизъм)

През 1933 г. е направено откритие, което изиграва извънредно важна роля както за разбирането на същността на СП състояние, така и за построяването на феноменологичната теория на явлението. Майснер и Оксенфелд откриват, че вътре в масивен свръхпроводник при $T < T_c$ магнитната индукция $\mathbf{B}$ е равна на нула. Опитът показва, че $\mathbf{B} \neq 0$ само в тънък повърхностен слой с дебелина $\delta \sim 10^{-5} - 10^{-6}$ cm. Това поведение не зависи от реда, в който се осъществяват преходът в СП състояние ($T < T_c$) и включването на магнитното поле – и в двата случая магнитното поле се изтласква от обема на свръхпроводника (Фиг. 5).



Фиг. 5. Магнитната индукция $\mathbf{B}$ при външно поле $H < H_c$: (а) в свръхпроводник; (б) в нормален метал

T_c , на магнитното поле H_c и на електричния ток I_c – определят областта, в която даден материал е СП (Фиг. 4).

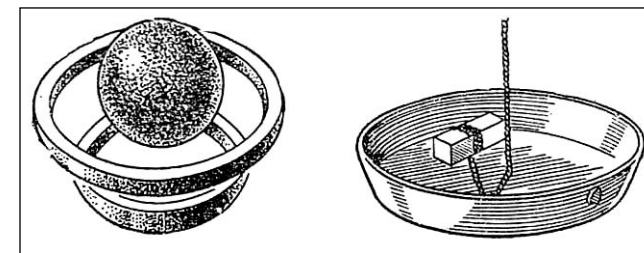
Особено забележителен е фактът, че най-добрите проводници не са свръхпроводници, а обратно – тъкмо лошите проводници имат такова свойство. Това показва, че механизмът на СП вероятно е съвсем различен от механизма на обичайната проводимост.

Откритието на високотемпературната СП (Беднорц и Мюлер, 1986 г.) блестящо потвърди това предположение.

Това показва, че СП е не само идеална проводимост, но също така идеален диамагнетизъм (т.е. нулева магнитна проницаемост). При това тези две свойства не следват едно от друго, а съставят принципното различие между СП и идеалната проводимост. Камерлинг Онес е проявил необикновена интуиция, когато нареклъ откритото от него явление СП, а не идеална проводимост.

Все пак идеалната проводимост има значение за проявата на идеален диамагнетизъм. Споменатият горе повърхностен ток е стационарен, не затихва. Така че идеалният диамагнетизъм на свръхпроводниците означа-

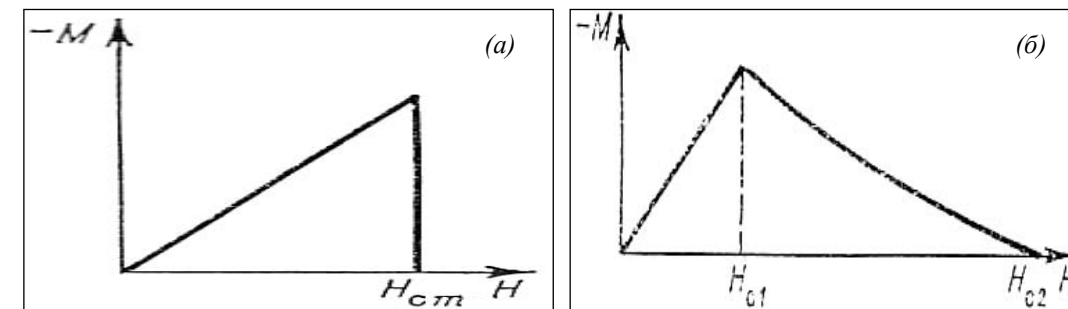
ва възможност за протичане на повърхностен стационарен ток, който не изпитва електрично съпротивление. Този незатихващ ток може да се индуцира в пръстен, над който да се постави свръхпроводяща сфера. Индуцираният в сферата СП ток поражава, вследствие на диамагнитния ефект, сили на отблъскване между пръстена и сферата. В резултат сферата може да „виси“ над пръстена дотогава, докато двете тела са в СП състояние (Фиг. 6). Над СП пръстен може вместо СП сфера да се постави постоянен магнит; той също ще „виси“ над пръстена. Не е трудно да си представим какви възможности за приложения разкрива това явление.



Фиг. 6. (а) Диамагнитен ефект; (б) Отблъскване на постоянен магнит („Мохамедов ковчег“)

II.3. Свръхпроводници от I и II род

Дълбочината на проникване на магнитното поле δ е една от основните характеристики на СП. Тя зависи от различни фактори и в частност от температурата (при $T \rightarrow T_c$ дълбочината $\delta \rightarrow \infty$, т.е. тялото преминава в нормално състояние). В зависимост от стойността на δ при $T=0$ свръхпроводниците се причисляват към две големи групи – първи и втори род. Първите обикновено са чисти метали (с изключение на V и Nb) и за тях намагнитването със скок преминава в $\mathbf{M}=0$ при критичното магнитно поле H_c . Свръхпроводниците от II род са сплави и при тях зависимостта на намагнитването от магнитното поле е по-сложна (Фиг. 7) При слабо магнитно поле $H < H_{c1}$ потокът на магнитната индукция се изтласква от обема на образеца и затова областта $H < H_{c1}$ се нарича „област на Майснер“. При $H \geq H_{c1}$ магнитният поток започва да прониква в свръхпроводника, но нормалното състояние не се възстановява напълно. Това е т.нар. „смесено състояние“ (или „фаза на Шубников“). То съществува до $H=H_{c2}$, при което $\mathbf{M}=0$, макар че в тънък повърхностен слой (от порядък на 10^{-5} cm) СП се запазва до поле $H_{c3} \approx 1.7 H_{c2}$.



Фиг. 7. Зависимост на намагнитването M от външното поле за: (а) свръхпроводници от I род и (б) от II род

Полетата H_{c1} , H_{c2} и H_{c3} се наричат съответно първо, второ и трето критично поле. Те съществено зависят от състава на сплавта. Величината H_{c2} (при съответна обработка на образца) може да достига стотици и даже хиляди Ое.

При свръхпроводниците от I род магнитното поле може да започне да прониква в обема на образца и при $H < H_{c1}$, тъй като в зависимост от геометрията на образца отделни негови части от повърхността „виждат“ поле $H \geq H_{c1}$. Образецът се разслюва на нормални и свръхпроводящи области. Възниква т.нар. „промеждутъчно състояние“ (Р. Пайерлс, 1936; Л. Ландау, 1937).

Проникването на магнитно поле в смесеното състояние ще бъде разгледано по-късно.

II.4. Първи теоретични опити

Откритието на СП предизвиква огромен интерес сред физиците. Показателно е, че още при първите опити за теоретично обяснение на СП (Айнщайн, Бор, Хайзенберг) е изказано предположението за квантова природа на явлението. Липсвала е обаче идеята за колективните взаимодействия в системите на решетъчните атоми и електроните, т.е. представите за колективните ефекти на квантовата макрофизика.

II.5. Двутечностен модел

Основно свойство на СП състояние е изчезването на електричното съпротивление: електроните в свръхпроводника се движат „без триене“, не се разсейват от трептенията и нееднородностите на кристалната решетка. Но ако е така, би могло да се очаква, че електронната топлопроводност ще стане безкрайно голяма. А опитът показва, че това не е така – при преход в свръхпроводяща фаза топлопроводността не се изменя със скок и при температура под критичната температура на прехода T_c тя остава крайна.

За да решат това противоречие, К. Гортър и Х. Казимир изказват (1934 г.) хипотезата, че електронният газ в свръхпроводниците може да се разглежда като съставен от две компоненти – нормална, с някаква плътност ρ_n , и свръхпроводяща с плътност ρ_s , като пълната електронна плътност е сума от двете: $\rho = \rho_n + \rho_s$. Плътността ρ_s на свръхпроводящите електрони трябва да намалява с повишаването на температурата и при $T = T_c$ да става нула. При $T = 0$ трябва $\rho_n = 0$ и $\rho_s = \rho$.

Според двутечностния модел незатихващият електричен ток при нулево електрично поле е свързан с движението на „свръхпроводящите“ електрони, а крайната електронна топлопроводност се дължи на „нормалните“ електрони.

Кавичките, с които означаваме двете електронни компоненти, означават, че представата за електронната система на метала като съставена от две части – нормална и свръхпроводяща – в никакъв случай не означава реално деление. Отделно взетият електрон не може да бъде нито нормален, нито свръхпроводящ. СП е колективен квантов ефект и по-правилно е да се говори не за две части на електронната течност, а за два типа движение, които могат да съществуват в нея. Двутечностният модел по-скоро е удобен метод, който позволява нагледно да се представят сложните процеси в СП състояние. Този модел се обосновава от микротеорията на СП.

Любопитно е обаче, че именно праволинейното прилагане на идеята за свръхфлуидност към електронната течност на свръхпроводника се явява спънка пред построяването на такава микротеория. Действително, на пръв поглед СП би могла да се разглежда като подобна на откритото от П.Капица (1937г.) явление свръхфлуидност – протичане с нулев вискозитет на течен хелий по капилари. Според построената от Ландау (1941) теория на свръхфлуидността съществува отлична от нула критична скорост v_c , така че течността е безвискозна при скорост $v < v_c$. Но, докато за съставения от бозони He^4 течен хелий v_c е крайна величина, то за фермионната течност на електроните в метала елементарното възбуждане (т.е. раждането на проводящ електрон, а заедно с него на „дупка“) може да става при самата Ферми повърхност, т.е. критичната скорост е нулева и затова електронната течност ще бъде вискозна при произволно малка скорост на течение.

Опитите да се намерят бозонни образувания в електронната течност (напр. двойки електрони) по подобие на хелиевите атоми He^4 се натъкват на трудност поради Кулоновото отблъскване на електроните. Тази трудност е преодоляна едва с откриването на квантов механизъм (Л.Купър, 1956) за образуването на двойки електрони в СП състояние.

II.6. Теория на Фриц и Хайнц Лондон за електромагнитните свойства на свръхпроводниците

След откриването на ефекта на Майснер братята Фриц и Хайнц Лондон прилагат (1935г.) двутечностния модел на Гортър – Казимир към уравненията на Максвел. Така те поставят основите на макроскопската електродинамика на СП с нейните две най-съществени свойства, известни от експеримента – идеалната проводимост и идеалния диамагнетизъм.

Като залагат условието за безвискозно движение на свръхфлуидната компонента, те получават от уравненията на Максвел, че идеалният проводник „замразява“ в своя обем проникналото в него магнитно поле. Това е точно обратното на ефекта на Майснер – изтласкване на магнитното поле от обема на свръхпроводника – и показва, че свръхпроводникът не е единствено идеален проводник. Поради това авторите постулират известния от опита факт, че в обема на свръхпроводника токът и магнитното поле винаги са нулеви.

Така те получават двете уравнения, известни като уравнения на Лондоните, с които се описва разпределението на магнитното поле и на тока в свръхпроводника. От тези уравнения следва, че магнитното поле намалява експоненциално в обема на свръхпроводника с характерна дълбочина $\delta^2 = (mc^2/4\pi\rho_s e^2)$, наречена лондоновска дълбочина на проникване. Тук вече външното магнитно поле създава (в повърхностния слой с дебелина δ) такъв ток, който не го замразява, а го изтласква навън от обема (идеален диамагнетизъм).

Тъй като свръхфлуидната компонента зависи от температурата, то лондоновската дълбочина също ще зависи от T . Оценката за δ при $T = 0$ (при $\rho_s(0) = \rho \approx 10^{22} \text{ cm}^{-2}$) дава

$\delta(0) \approx 10^{-6}$ cm, т.е. полето и токът проникват в свръхпроводника на дълбочина няколко десетки атомни слоеве на кристалната решетка.

II.7. Пипардови и Лондонови свръхпроводници

Експериментът показва, че вкарването на примеси в метала увеличава дълбочината на проникване. За да отчете този факт, А Пипард предлага в уравненията на Лондоните локалната връзка на тока с векторния потенциал да се замени с нелокална, така че токът в дадена точка $\mathbf{r}$ да се определя от потенциала в цяла област с обем ξ^3 около точката $\mathbf{r}$. Величината ξ се нарича дължина на кохерентност (тя зависи от дължината на свободния пробег на електроните). Тук трябва да отбележим, че дължината ξ по-късно, при създаването на микротеорията на Бардийн, Купър и Шрифър (1957), се оказва пряко свързана с размера на Купъровите двойки $\xi_0 \approx 10^{-4}$ cm.

Прието е чистите свръхпроводници, за които $\delta \ll \xi$, да се наричат Пипардови, а тези с много примеси (както и сплавите), за които $\delta \gg \xi$ и връзката на тока с векторния потенциал е локална, да се наричат Лондонови.

По-късно в теорията на Гинзбург и Ландау (1950г.) е въведена величината $\chi = \delta/\xi$, която получава названието „параметър на Гинзбург-Ландау“. Оказва се, че величината χ , според числената си стойност в близост до T_c , позволява да се говори за две групи свръхпроводници:

- (i) при $\chi < 1/2$ – свръхпроводници от I род (близки до Пипардовите)
- (ii) при $\chi > 1/2$ – свръхпроводници от II род (близки до Лондоновите).

Това са същите два типа свръхпроводници, които бяха въведени по-горе, но със значително по-строга количествена характеристика. Силното различие между тези два вида е отбелязано от А.Абрикосов и Н.Заварицки (1952) при анализа на експерименталните данни за тях.

III. Четиридесет години по-късно

III.1. Феноменологична теория на Гинзбург-Ландау (1950)

Тази теория е основана върху развитата от Ландау (1937) теория на фазовите преходи от втори род. В духа на последната е постулиран характерен за прехода параметър, наречен „параметър на порядъка“. Последният е нулев във фазата с по-висока симетрия и е отличен от нула във фазата с нарушена симетрия – обикновено това е нискотемпературната фаза.

В случая на СП въведеният параметър на порядъка е единна комплексна вълнова функция $\Psi = (\rho_s/2)^{1/2} \exp(i\theta)$, описваща квантовото състояние на цялата макросистема. Модулът $|\Psi|$ при $T=0$ описва пълната подреденост на нискотемпературната фаза $|\Psi| = (\rho_s/2)^{1/2} = (\rho/2)^{1/2}$, а при $T=T_c$ той е $|\Psi|=0$ и описва неопределеното нормално (несвръхпроводящо) състояние.

Теорията на Гинзбург – Ландау извежда на преден план макромасштабната природа на СП. В рамките на тази теория А.Абрикосов построява (1957) теорията на свръх-

проводниците от II род. По-късно, след създаването на микроскопската теория на СП от Бардийн, Купър и Шрифър (1957), Л. Горков дава (1959) микроскопско обяснение на влизащите в нея феноменологични параметри. Квантовото макроописание на СП позволи да се построи проста теория на тунелните ефекти и на ефектите на Джозефсън.

III.2. Квантуване на магнитния поток

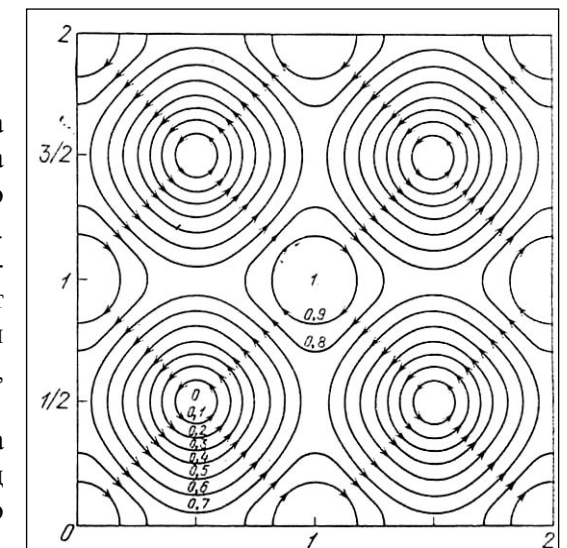
Използването на макроскопска вълнова функция $\Psi(\mathbf{r})$ позволява да се предскаже един извънредно интересен ефект – квантуване на магнитния поток (Ф. Лондон, 1950). Оказва се, че магнитният поток Φ , затворен в свръхпроводящ пръстен, може да има само цял брой стойности на величината $\Phi_0 = hc/2e = 2.07 \cdot 10^{-7}$ Oe/cm² (h, c, e – универсалните константи на Планк, на светлинната скорост и на електронния заряд). Фриц Лондон нарича този квант на магнитния поток „флюксонид“.

Квантуване на магнитния поток е наблюдавано експериментално през 1961 (Б.Дийвър и Феърбанк; Дол и Небауер). То показва, че свързаният с него ток в свръхпроводящ пръстен също е квантуван. Той прилича на гигантска дискретна атомна орбита, по която електронът се движи без затихване, т.е. не излъчва електромагнитни вълни въпреки ускореното си движение по кръгова орбита. Това движение има същата природа като квантуването на електронните орбити в атома (върху дължината на орбитата трябва да се нанася цяло число вълни), но тук квантуването се проявява не в микро-, а в макромасштаб.

III.3. Смесено състояние, вихри на Абрикосов

През 1957 г. А. Абрикосов, въз основа на теорията на Гинзбург-Ландау, развива теорията на смесеното състояние, което възниква в свръхпроводниците от II род. Характерно за това състояние е, че магнитното поле не се изтласква напълно от тялото, а частично прониква в неговия обем, като заедно с това се запазва и СП, т.е. ефектът на Майснер е непълен.

Смесеното състояние съществува между долното критично поле H_{c1} (под което е СП фаза) и горното критично поле H_{c2} (над което е нормалната фаза). При $H \geq H_{c1}$ полето започва да прониква в обема на свръхпроводника във вид на вихри. Стволът на вихъра е по посоката на магнитното поле и вътре в него със-



Фиг. 8. Квадратна вихрова решетка на Абрикосов. Всеки вихър е съставен от затворени токови линии (числата в тях съответстват на стойностите на $|\Psi|^2/|\Psi_{max}|^2$)

тоянието е нормално. Магнитният поток на всички вихри е един и същ и е равен на кванта на магнитния поток Φ_0 . В пространството между вихрите СП се запазва.

Вихрите в смесеното състояние образуват квадратна (или триъгълна) решетка (Фиг. 8), известна като „вихрова решетка на Абрикосов”. При увеличаване на полето $H > H_{c1}$ плътността на вихрите се увеличава и при $H = H_{c2}$ Ларморовият радиус на въртене на Купъровите двойки става съизмерим с техния размер ξ , поради което те започват да се разрушават. При $H \geq H_{c2}$ СП напълно се разрушава, веществото преминава в нормално състояние.

III.4. „Твърди” свръхпроводници

Идеята за създаване на свръхпроводящи магнити е изказана още от Кам. Онес. Но известните по негово време свръхпроводници са имали малки критични полета от порядъка на стотици Ое. Положението се променя, когато през 1960-те години са открити свръхпроводници с критични полета над 100 КОе. (т.нар. фази на Шеврел: съединения от типа $M_x(Mo_6S_8)_y$, където М е метал – Pb, Li и др.).

Това обаче не е достатъчно. При силни магнитни полета свръхпроводникът е в смесено състояние с вихрова решетка. Но протичащият през него ток действа върху вихрите с Лоренцова сила, която ги задвижва и в резултат възниква дисипация на енергията. Причина за тази дисипация са взаимодействията на нормалната електронна компонента в сърцевината на вихрите с топлинните трептения на решетката.

Изход от това положение е в свръхпроводника да се създадат големи нееднородности (напр. с пластично деформиране или с отделяне на друга фаза). Такива вещества (наречени „твърди свръхпроводници или „свръхпроводници от трети род”) се характеризират с големи стойности на критичния ток. По теорията на Ф.Андерсън (1962) вихрите на Абрикосов се „закрепват върху нееднородностите (затова явлението се нарича pinning – забождам, закрепвам с топлийка). Критичният ток вече се определя от силата на пининга на вихрите, а последната се определя от обработката на материала.

III.5. Електрон-фононно взаимодействие, изотопичен ефект

Още първите изследвания върху СП на различни вещества разкриват една характерна особеност: най-добрите проводници (мед, злато, сребро) не са свръхпроводници, а обратно, именно лошите проводници са добри свръхпроводници. Това означава, че механизмът на СП е напълно различен от механизма на обичайната проводимост. Електросъпротивлението на нормалните метали е свързано с взаимодействието между електроните и кристалната решетка. Тъй като при „лошите” проводници то е най-голямо, очевидно тяхната „добра” СП по някакъв начин се дължи именно на взаимодействието между електроните и решетъчните трептения (фононите).

Потвърждение на тази догадка (Х.Фрьолих, 1950) е откритият (от Е.Максуел и Рейнолдс, 1950) изотопичен ефект. Оказва се, че критичната температура и масата на изотопите на свръхпроводящото вещество (пръв е изследван отново живакът) са свързани по закона $T_c M^{1/2} = \text{const}$. Тъй като с масата на решетъчните йони е свързана

честотата на решетъчните трептения (фононите), то изотопичният ефект показва, че възникването на СП се обуславя от взаимодействието на електроните с кристалната решетка.

Както виждаме, електрон-фононното взаимодействие при едни условия е причина за появата на електросъпротивление, а при други условия води до неговото изчезване, т.е. до СП.

III.6. Купърови двойки електрони, енергетичен процеп

СП е свързана с възникването на свръхфлуидна компонента в електронната фермиевска течност. Свръхфлуидна може да бъде система от свързани помежду си двойки електрони. За да възникнат такива двойки, трябва между електроните да има привличане. Възможността да възникнат сили на привличане между електроните, въпреки Кулоновите сили на отблъскване между тях, може нагледно да се представи по следния начин.

Движещият се в метала електрон деформира (поляризира) кристалната решетка. В резултат на това около този електрон възниква „облак” от положително заредени йони. Големината на този положителен заряд може да надвишава електронния заряд. Тогава този електрон заедно със заобикалящия го „облак” представлява положително зареден обект, който ще привлича друг електрон. При високи температури интензивното топлинно движение бързо разпръсква йонния „облак”, но при достатъчно ниски температури това привличане може да създаде устойчиви конфигурации от свързани двойки електрони, които именно образуват свръхфлуидна електронна компонента.

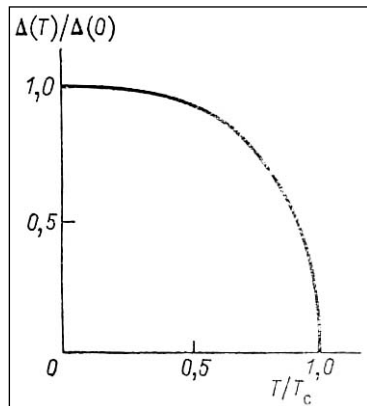
Механизмът на възникване на такива свързани двойки електрони (наречени „Купърови” – по името на техния откривател Лион Купър, 1956) е типично квантов: електроните обменят помежду си фонони, в резултат на което между тях възниква привличане. За някои вещества (това са именно свръхпроводниците) при ниски температури привличането преобладава над Кулоновото отблъскване. При това електронната система се превръща в свързан колектив и, за да бъде той възбуден, е необходимо да се приложи крайно количество енергия. Това означава, че възбуденото състояние на електронната система е разделено от основното състояние с краен енергетичен интервал Δ , наречен „енергетичен процеп” (или „празнина”; англ. термин „energy gap”).

Електронната система на свръхпроводника може да се представи като съставена от свръхфлуидна компонента на Купърови двойки и нормална компонента на свободните електрони над енергетичния процеп.

III.7. Микроскопска теория на СП

(теория на Бардийн – Купър – Шрифър, 1957)

Микроскопската теория на СП е известна като „теория БКШ” – по инициалите на тримата американски физици, които я създават. Основна роля в теорията играе енергетичният процеп Δ , посредством който се изразяват критичните параметри магнитно поле H_c и електричен ток I_c на свръхпроводника. Величината Δ зависи от температу-



Фиг. 9. Температурна зависимост на енергетичния процеп по теорията на БКШ

рата на образца (Фиг. 9), което позволява да се изведе зависимостта на критичния ток и критичното поле от температурата. На свой ред критичната температура T_c е свързана с величината Δ при $T=0$.

Друг характерен микропараметър е размерът на Купървата двойка. Той е от порядък $\xi \approx 10^{-4}$ cm. А тъй като периодът на кристалната решетка е от порядък 10^{-8} cm, то електроните в Купървата двойка са на огромно спрямо решетъчната константа разстояние – около 10^4 периода на решетката. Партньорите в тази двойка непрестанно се менят, но най-силна е връзката между тези, които са раздалечени на разстояние, съизмеримо с дължината на кохерентност ξ_0 , която е от порядък 10^{-4} cm.

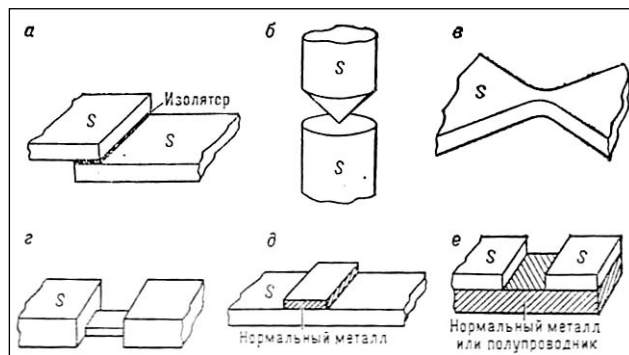
Теорията БКШ обоснова и даде микромасщабно обяснение на предшестващите я феноменологични теории. Скоро след нейното създаване Л.Горков показва (1959) при какви условия са валидни теориите на Гинзбург – Ландау и тези на Лондоните и на Пипард.

Наред с това теорията БКШ позволи да се предскажат редица нови ефекти на СП, най-забележителни от които са ефектите на Джозефсън.

III.8. Ефекти на Джозефсън

Може ли нулево напрежение $V=0$ да създава ненулев ток $I \neq 0$? Може ли приложено постоянно напрежение $V=\text{const.}$ да създава променлив ток? Оказва се, че квантовите ефекти на СП дават положителни отговори на тези странни на пръв поглед въпроси.

Както посочихме по-рано, в теорията на Гинзбург – Ландау комплексният параметър Ψ има смисъл на вълнова функция на Купървата двойка. Реалната част на този параметър представя плътността на СП електрони. Обаче значително по-съдържателна е неговата имагинерна част. Това проличава, когато се разглеждат т.нар. **слабосвързани**



Фиг. 10. Слабо свързани свръхпроводници

свръхпроводници (Ф.Андерсън, 1964) – два свръхпроводника, разделени от тънък ($\leq 10 \text{ \AA}$) слой диелектрик, нормален метал или полупроводник, а също свръхпроводящи точковидни контакти (Фиг. 10). Съществени за тези системи са възникващите в контакта квантови тунелни ефекти. Те носят името на техния откривател (1962 г.) – английският физик теоретик Брайън Джозефсън.

Различават се главно два ефекта на Джозефсън – **стационарен** и **нестационарен**. И в двата случая особено важна роля играе фазата на вълновата функция на Купървата двойка, а така също връзката на тази фаза с потенциалите на електромагнитното поле.

Фазата на отделния свръхпроводник изобщо не е определена. Когато двата свръхпроводника са раздалечени един от друг, фазовата разлика се мени хаотично. Но при сближаването им на разстояние от порядъка на корелационната дължина вълновите функции започват да се припокриват и между двата свръхпроводника се установява фазова кохерентност – фазите от двете страни на потенциалния бариер добиват определено съотношение, което носи названието Джозефсънова фаза φ_J .

В този случай контактът придобива любопитни особености. Преди всичко фазата, която в обема на свръхпроводника се мени непрекъснато, при прехода през бариера се променя със скок. При това възникналата фазова разлика в контакта може да се управлява посредством външно магнитно поле.

Тези особености на Джозефсъновия контакт имат извънредно полезни приложения. Но значително по-интересна е установената за пръв път във физиката връзка между фазата на вълновата функция и една толкова банално измерима величина, каквато е токът. Освен това връзката на фазата с потенциалите на електромагнитното поле позволява да се изясни същността на тези потенциали, чийто физически смисъл отдавна е обект на остри дискусии.

Протичането на свръхпроводящ тунелен ток е свързано с фазовата разлика φ_J по формулата: $I=I_c \sin \varphi_J$. Това е чисто свръхпроводящ ток, който протича при нулево напрежение $V=0$ – т.нар. **стационарен ефект на Джозефсън**.

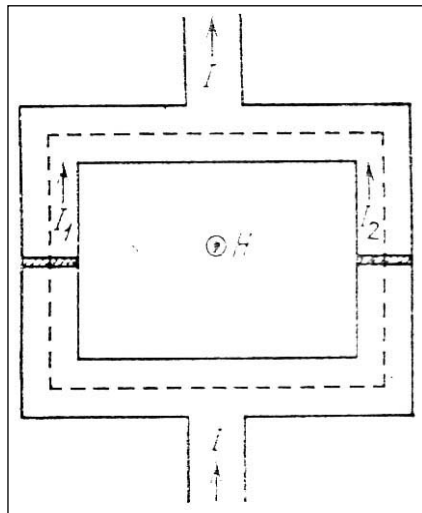
Критичният ток I_c зависи от свойствата на контакта, температурата и магнитното поле.

При усилване на тока I , когато той стигне до I_c , на контакта възниква напрежение. Така стигаме до **нестационарният ефект на Джозефсън**. Той принципно се отличава по това, че при него се проявява зависимостта на фазата от потенциалната разлика в контакта. По-точно скоростта на нарастване на фазата е пропорционална на постоянната потенциална разлика: $\partial \varphi / \partial t \sim V$. Това съотношение показва, че постоянната потенциална разлика $V=\text{const}$ създава променлива във времето фазова разлика, поради което плътността на тока става периодична функция на времето: $j=j_0 \sin(\varphi_0 + \omega t)$, където честотата ω се определя от равенството $\hbar \omega = eV$. Това означава, че на един микроволт напрежение на контакта съответства променлив ток с честота $\omega=484 \text{ MHz}$.

Нестационарният ефект на Джозефсън може да се разглежда също като преминаване на Купърви двойки през контакта, при което всяка двойка променя енергията си с $2eV$ и заедно с това се излъчват кванти електромагнитна енергия. Възможен е също и обратният процес: при облъчване на Джозефсъновия контакт с честота ω преминаването на Купървите двойки през него става с поглъщане на фотони, като токът през контакта се усилва.

III.9. Макроскопична квантова интерференция, скуид

Квантовата макроскопичност на свръхпроводящото състояние е най-пълно изразена в квантовата интерференция. В контур, съдържащ два Джозефсънови контакта (за простота ги избираме да са еднакви), протича общ ток $I = I_0 \cos \phi$. (Фиг. 11) Включването на магнитно поле нормално на равнината на контура променя фазата, така че между фазите в двата контакта възниква разлика, пропорционална на магнитния



Фиг. 11. СКУИД – два Джозефсънови контакта са включени паралелно

поток Φ през контура. Така както интерферираме помежду си електромагнитните вълни, преминали през процепите на дифракционна решетка, тук се сблъскваме с интерференция на свръхпроводящи токове, които се описват от кохерентна вълнова функция и минават през два „процепа“ (двата Джозефсънови контакта в контура). В този случай имаме два потока от материални частици и вълновите свойства на веществото се проявяват като интерференция на вълновите функции на Купъровите двойки.

Критичният ток, протичащ през контура без съпротивление, е интерференция на двата тока, т.е. $I_c = 2I_0 \cos(\pi\Phi/\Phi_0)$, където $\Phi = HS$ (H – интензитет на полето, S – площ на контура). Интерференционният ток се анулира при $\Phi = (n + 1/2)\Phi_0$. Доколкото площта S е голяма в сравнение със сечението на контакта, а квантът $\Phi_0 = 2 \times 10^{-7}$ Ое/см², то с помощта

на квантовия интерферометър могат да се измерват полета до 10^{-10} Ое (за сравнение магнитното поле на Земята е 0.5 Ое).

Този извънредно чувствителен магнитометър е наречен „скуид“ (акроним от английската фраза Superconducting QUantum Interference Device, т.е. свръхпроводящ квантов интерферометър).

По-нататък ще видим, че относителните фази на електронните вълни в двата клона в действителност се управляват не от самото магнитно поле, а от неговия векторен потенциал.

IV. Приложна СП

– Свръхпроводящи соленоиди

Идеята за създаване на свръхпроводящи соленоиди, с които без топлинни загуби да се създава магнитно поле от 100 000 Gs, е изказана от Кам. Онес още през есента на 1913 г. Основната трудност обаче иде от разрушаващото действие на магнитното поле (за оловна намотка при 4.25 К свръхпроводимостта изчезва при поле $H \approx 600$ Gs). Едва през 1960-те години целта е постигната с намотка от Nb–Ti, чиито високи кри-

тични стойности на магнитното поле, тока и температурата ($T_c \approx 9$ K) позволяват те и до днес да се използват като скенери за медицинската диагностика (ЯМР диагнози на тъканите, кръвоносните съдове и сърцето) и като отклоняващи магнити в ускорители на елементарни частици.

Нужни са обаче достатъчно високи T_c , за които да не е необходим течен хелий. Тук особено ефикасни са „твърдите“ свръхпроводници, които намират многобройни приложения за генератори, трансформатори, МХД преобразуватели, за удържане на плазма в реактори за управление термоядрен синтез, за управляващи магнити в гигантските ускорители от рода на действащия в CERN Голям Адронен Колайдър, за радиационна защита на космически кораби и мн.др.

Предимството на СП соленоиди в сравнение с обичайните електромагнити е, че те не се нуждаят от външен източник на напрежение, доколкото протичащият в тях ток е незатихващ.

– **Магнитни възглавници**, основани върху ефекта на Майснер. Диамагнитното отблъскване създава носеща механична сила без никакво триене на подложката. В днешно време на този принцип работят свръхбързи влакове, развиващи скорост до 650 km/h (Япония, Ю. Корея и др.).

– **Новите поколения компютри** трябва да увеличат скоростта си, да намалят топлоотделянето и да подобрят своята компактност. Очевидно е, че тези три задачи са тясно свързани помежду си. Те се решават на първо място с широкото използване на СП устройства. Незатихващият СП ток представлява идеално запомнящо устройство, а свръхпроводящите превключватели (криотрони) осигуряват скорост на превключване от порядъка на една наносекунда.

– **Приборите, основани върху ефектите на Джозефсън**, и особено магнитометрите СКУИД, позволяват да се измерват извънредно слаби магнитни полета ($\approx 10^{-10}$ Ое). С тях, в частност, могат да се правят магнитокардиограми, т.е. да се записват сигналите от магнитното поле, възникващи при работата на сърцето.

За многобройните приложения на СП можем уверено да кажем, че те са основани върху нейната същност на макроскопско квантово явление.

V. Високотемпературна свръхпроводимост (ВТСП)

Огромните приложни възможности на СП се натъкват на едно сериозно препятствие: за всички известни до 1986 г. свръхпроводници критичната температура беше от порядъка на 10 K, а за постигането на такива температури трябва да се използва течен хелий, с което силно се оскъпява всяко свръхпроводящо съоръжение.

От момента на откриването на СП до днес не престава търсенето на свръхпроводящи материали с възможно по-високи T_c , но първоначално напредъкът е твърде бавен. За 75 години, откакто е открита СП на живака ($T_c = 4.2$ K), до 1986г. критичната температура е повишена едва до 23.2 K на интерметалното съединение Nb₃Ge (1973 г.). А постигането даже на $T_c = 25$ K би означавало значителна крачка в практическото

прилагане на СП, доколкото би позволило вместо хелий да се използва многократно по-евтиният течен водород (точка на кипене 20.3 K).

Този бавен напредък в търсенето на по-високи T_c кара физиците да смятат, че в рамките на електрон-фононния механизъм по теорията БКШ T_c трудно би се повишила. Вниманието е насочено към екситонния механизъм (възбуждания в молекулни кристали) на Купърво свързване, към модел на многослойни структури метал – диелектрик (Гинзбург, 1960), както и към модел на нишковидни полимерни вериги (Литъл, 1964).

Още по-настойчиво продължава експерименталното търсене на нови свръхпроводящи материали. През 1974 г. започва изследването на оксидна керамика от вида $BaPb_{1-x}Bi_xO_3$. (Забележително е, че става дума за вещество, което като правило е изолатор, и затова дълго време не е между кандидатите за ВТСП. Тук отново се потвърждава правилото, че „лошите” проводници са „добри” свръхпроводници.) Към края на 1970-те години е постигната $T_c=13$ K за съединение с $x=0.25$. В продължение на няколко години се търсят свръхпроводници с подобна структура, но с по-висока T_c . Най-после през 1986 г. такова съединение е намерено от Г.Беднорц и А.Мюлер, работещи в швейцарския филиал на американската фирма IBM. За тяхното откритие решаваща се оказва замяната на оловото с мед. При образеца на оксидна керамика $La_{1-x}Ba_xCuO_3$ при $x=0.2$ и $x=0.15$ те получават $T_c \approx 30$ K. Образците имали поликристален строеж и учените допуснали, че преход в свръхпроводящо състояние става в някои от кристалните фази, през които именно протича свръхпроводящият ток.

Новите свръхпроводници са наречени високотемпературни. С тяхното изучаване се заемат много институти и лаборатории в света. Установено е, че новите свръхпроводници са от втори род, което се потвърждава от вида на зависимостта на намагнитването M от приложеното поле H (Фиг. 7).

През 1987-1988гг. са открити още няколко ВТСП. От тях най-високи T_c имат съединенията $Tl-Ba-Cu-O$, за които, в зависимост от процентния състав, критичните температури се менят от 105 до 125 K. Засега се смята, че най-висока критична температура при нормално налягане е тази на купрата $HgBa_2Ca_2Cu_3O_x$ с $T_c=135$ K.

Засега все още не знаем отговора на въпроса за физическия механизъм на ВСТП на керамичните образци. А това е важно както за теорията, така и за приложенията на СП и особено за търсенето на СП при стабилни температури.

В неотдавнашна публикация, посветена на 100-годишнината на СП (D.Delft, P.Kes, Europhys. News. 42 (2011) 21), се казва: „СП исторически бележи 2 епохи: от Онес до Беднорц и Мюлер и втората след Беднорц и Мюлер”. Вероятно и Нобеловият комитет е смятал така, защото присъди наградата буквално на следващата година (1987) след откритието на ВТСП.

VI. Физиката на СП и другите области на науката

Идеите на теорията на СП се оказват изненадващо плодотворни за различни и твърде отдалечени на пръв поглед области на физиката. Ето някои примери:

VI.1. Ефект на Ааронов-Бом (1959)

От времето, когато Максвел формулира уравненията на електродинамиката, учените са били твърдо убедени, че потенциалите на електромагнитното поле играят само удобната роля на помощни математически понятия. Смятало се е, че те не са физически реални, а само техните производни, определящи електричното и магнитното поле, са наблюдаеми.

Квантовата механика обаче показва, че уравнението за вълновата функция на заредена частица във външно електромагнитно поле съдържа не интензитета на магнитното поле, а неговия векторен потенциал. Въпросът е дали върху заредена микрочастица може да действа потенциалът, без частицата да попада под действието на самото магнитно поле.

Отговор беше получен експериментално (1964 г.) с помощта на свръхпроводящ интерферометър. Вътре в контура, образуван от двата Джозефсънови контакта, се поставя тънък и дълъг соленоид. Магнитното поле е локализирано вътре в соленоида, така че то не може да действа върху електроните в контура. Интерференцията на двата електронни потока се определя от векторния потенциал във външния соленоид (ефект на Ааронов-Бом).

Това доказва реалната природа на електромагнитния потенциал за квантови обекти. За класически (заредени) частици този ефект не съществува.

VI.2. Свръхпроводящи атомни ядра

Идеята, че фермионите в атомното ядро – протоните и неутроните – могат да образуват нуклонни Купърви двойки, е изказана веднага след създаването на теорията БКШ (Н.Боголюбов, С.Беляев, 1958). Свръхпроводящото състояние на ядреното вещество се проявява например в процесите на поглъщане на лъчения в атомното ядро, в инерчните моменти на атомните ядра, в техния енергетичен спектър и др.

VI.3. Свръхпроводящи сложни молекули

Сложните молекули са обект на органичната химия и на биохимията. В много от тях част от електроните – т.нар. σ -електрони – се намират близо до атомните ядра, а наред с тях има и т.нар. π -електрони, които могат да се движат през молекулата. Молекулите с π -електронна система са подобни на метал и в тях могат да се образуват свързани електронни двойки, подобни на Купървите. Механизмът на тази връзка е поляризацията на молекулния остатък.

Свръхпроводящото състояние на сложните молекули се проявява при тяхното взаимодействие с лъченията и с външно магнитно поле. При това се оказва, че критичното магнитно поле с порядъци превишава това на „стандартните” свръхпроводници.

Особено значение може да има свръхпроводящото състояние на биологично активните вещества. Наличието на свързани двойки електрони с огромен за мащаба на молекулата размер (10^{-4} cm) представлява уникален случай на далечна връзка в

молекулите. Тази връзка може да лежи в основата на жизнените процеси на поглъщане и пренос на енергия, а също на заряд в т.нар. дихателна верига.

VI.4. СП в астрофизиката – пулсари

През 1970-те години група английски астрофизици в Кеймбридж откри радиосигнали, излъчвани в много строго периодични импулси (1.3372275 sec – с точност до осмия знак!). Учените установили, че това са астрономични обекти (нарекли ги „пулсари“), намиращи се в нашата Галактика.

В днешно време са известни над 100 пулсара. По-късно става ясно, че това са същите хипотетични неутронни звезди, които Ландау предсказал през 1932 г. (на другата година след откриването на неутрона). Тези звезди са съставени почти изцяло от неутрони и имат огромна плътност ($\approx 10^{14} \text{ g/cm}^3$). Подобно на гигантско атомно ядро (с размер $\approx 10 \text{ km}$) неутронната звезда може да преминава в свръхпроводящо състояние. При това нейната критична температура е $T_c \approx 10^{11} \text{ K}$. (Трудно е да наречем това състояние „нискотемпературно“?!)

Това, че неутронната звезда е в свръхпроводящо състояние, се разбира от характерната за свръхпроводниците малка специфична топлина. Това е причина за бързото изстиване на звездата. Освен това в обема на свръхпроводящата звезда могат да се образуват вихри, които са вероятната причина за промяната – малка, но доста забележима, – в периода на въртене.

По думите на Ф.Дайсън „пулсарите са уникална лаборатория, в която могат да се проверяват физическите теории, обхващащи много области на физиката – от свръхпроводимостта до общата теория на относителността”.

VI.5. СП и Хигс бозонът

Даже да е знаел за посочените горе връзки на физиката на СП с други научни области, специалистът по СП вероятно би се удивил да научи, че идеите на СП играят съществена роля в областта на фундаменталните частици и взаимодействия, в които ключови думи са: стандартен модел, електрослаба теория, калибровъчни полета, спонтанно нарушена симетрия, поле (механизъм, бозон) на Хигс и т.н. Работата не е само в това, че бозонът на Хигс, който създава масите на частиците (затова Л.Ледерман го нарече „частицата Бог“), се търси в Големия Адронен Колайдър, в който отклоняващите магнити са свръхпроводящи соленоиди. Много по-съществено е, че идеята за механизъм на спонтанно нарушена симетрия е вдъхновена от теориите на Гинзбург – Ландау и на БКШ за СП. Или, както посочва Йосиру Намбу в Нобеловата си лекция (2008 г.): „Изглежда механизмът на БКШ има пряко отношение към проблема за йерархията на масите [на елементарните частици; *М.Б.*]. Този механизъм води до възникването на Голдстоунови и Хигсови моди във вид на нисколежащи бозони. Последните на свой ред могат да станат източник на следващо спонтанно нарушаване на симетриите, откриващо възможности за йерархично спонтанно нарушаване на симетриите. Примери за подобни явления са: 1) Веригата атом – кристал – фонон – СП; фононът, който

индуцира Купъровото сдвояване на електроните в свръхпроводниците, е модата на Намбу – Голдстоун. 2) Веригата КХД – спонтанно нарушение на хиралната симетрия – мезоните – сдвояване на нуклоните в ядрата.”

И завършва: „По-нататъшните коментари ми се струват излишни”.

Кратка справка: Нобелови награди за постижения, свързани със СП

Година	Наградени	Обосновка
1913	Хейке Камерлинг Онес	„за неговите изследвания на свойствата на веществата при ниски температури и за получаването за първи път на течен хелий”
1972	Джон Бардийн, Лион Купър, Робърт Шрифър	„за тяхната съвместно развита теория на свръхпроводимостта, наричана обикновено БКШ теория”
1973	Брайън Джозефсън	„за теоретичните му предсказания на свойствата на свръхпроводящия ток през тунелен бариер и в частност на явленията, които са общоизвестни като ефекти на Джозефсън”
1987	Георг Беднорц, Алекс Мюлер	„за тяхното революционно откритие на свръхпроводимост в керамични материали”
2003	Алексей Абрикосов, Виталий Гинзбург, Антъни Легет	„за техните пионерски приноси в теорията на свръхпроводимостта и свръхфлуидността”

НА ВНИМАНИЕТО НА БЪДЕЩИТЕ ВЕЛИКОДУШНИ И ЩЕДРИ СПОМОЩЕСТВОВАТЕЛИ НА СП. СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА

БАНКОВА СМЕТКА НА СФБ
BG82CREX92601013508300
BIC: CREXBGSF
ТОКУДА БАНК АД

ЗА КАКВО НИ ГОВОРИ НАРУШЕНИЕТО НА СР-СИМЕТРИЯТА?

(Нобелова лекция, Стокхолм, 8 декември 2008)

Тошихиде Маскава*



Преди всичко бих искал да благодаря на Шведската Кралска академия на науките и Нобеловия комитет за присъжданата ми Нобелова награда, за която не съм и мечтал.

Роден съм през 1940 г. в семейството на дърводелец-мебелиер в град Нагоя, Япония. Баща ми искаше да си смени професията и едновременно с работата си като мебелиер започна да се обучава за електроинженер. Обаче ми се оплакваше, че не може да разбере какво е синус или

косинус, понеже не беше получил основно образование. В края на краищата, той успя да организира малка мебелна фабрика, наемайки няколко работника, с които работеше и той. Но всичко рухна по време на войната, тази безразсъдна и нещастна война, която бе предизвикана от нашата страна.

След края на Втората световна война баща ми изнасяше пред вратата на къщата ни за разпродажба ключалки за врати, винтове за дърво и други останали ни мебели. Разпродажбата вървеше доста успешно. Добил вкус към търговията, той стана опитен търговец на захар за сладкарски произведения.

Баща ми продължаваше да се гордее с познанията си по електроинженерство, но не можеше да намери подходящи хора, пред които да ги демонстрира. Но веднъж намери подходяща жертва – сина си.

През тези бедни следвоенни години никой нямаше в къщата си баня, и затова хората ходеха на обществени бани. На път за банята и обратно баща ми се хвалеше със своите познания: как работи двигателя с трифазен ток? Защо слънчевите и лунни затъмнения не се случват всеки месец? Той обясняваше с гордост, че това става защото плоскостта на въртене на Земята около Слънцето и на Луната около Земята са на 5^0 една спрямо друга.

Това беше причината да бъда считан за странен ученик. Оценките ми не бяха добри, но можех да отговарям на въпросите на учителя, когато той се отклоняваше от темата на урока и обсъждането излизаше извън рамките на учебника.

Родителите ми нито следяха старателно за поведението на децата си, нито им

помагаха за уроците. Веднъж майка ми се сети, че никога не е виждала сина си да подготвя уроци в къщи. И затова на родителска среща тя заяви на учителя: „Моля Ви се, давайте понякога домашни на сина ми, иначе той не би се занимавал в къщи”. На което учителят отговори: „Вашият син никога не прави домашните си, въпреки че аз всеки ден му задавам такива!”

Вечерта след срещата беше кошмарна. Наложих се да изслушам двучасова родителска лекция.

Едно от събитията, което породило у мен силно желание да стана физик, се случи, когато бях в гимназията. Казано честно, започнах обучението си без особена мотивация. Но веднъж, когато бях в първи или втори клас в гимназията се натъкнах на вестникарска статия, в която се разказваше, че професор Соити Саката от университета в Нагоя е публикувал революционна теория [1] за съставен модел на елементарните частици, в която фундаментални частици са протона, неутрона и ламбда частици, като три основни съставлящи.

По онова време, по детски наивно считах, че науката е вече завършена в Европа още през XIX век. Ако професор Саката беше от Токио, това събитие едва ли би ме заинтересувало. Но научните открития ставаха направо в града където живеях аз самият – в Нагоя! В мен възникна страстно желание да взема участие в такива изследвания. Обаче баща ми искаше аз да се захвана заедно с него със семейния бизнес. Затова ми бе даден единствен шанс да се явя на приемни изпити в университета, и аз не можех да го пропусна. Работих усърдно за да се подготвя за приемните изпити в университета в Нагоя.

За мой късмет, бях приет. Лекциите в университета се отличаваха силно от уроците в училище и бяха много по-занимателни. Първата лекция беше по математичен анализ. Узнах за аксиомата на Архимед, която гласи, че за всеки две положителни числа ϵ и δ може да се намери такова цяло число N , че $N \times \delta > \epsilon$. След това преподавателят продължи с обяснението какво е това дедекиндово сечение. Това беше културен шок за мен. Всичко, което изпитах в университета беше свежо и стимулиращо. Всеки път, когато започвах изучаването на някаква нова област, бях така увлечен, че заявявах, че в бъдеще ще се занимавам с нея.

Когато вече бях в горните курсове на колежа, професорът ни по математика ме попита: „Предполагам, че се готвите за приемни изпити за аспирантура в математическия факултет?” Когато му отговорих: „Не, аз вече подадох заявление във физическия факултет”, професорът изглеждаше много разстроен, получавайки такъв неочакван отговор. Много вероятно е преди това да съм казал, че се каня да се занимавам с математика.

Подобни капризи не изчезнаха даже, когато започнах да посещавам курса по физика за докторанти през 1962 г. Например, считах, че изследването на мозъка е много важно, и заедно с няколко приятели започнах да посещавам факултативния курс лекции по изучаване на перцептрона (Перцептрон – математичен модел за възприемането на информация от мозъка, предложен от Ф.Розенблат през 1957г. – бел.ред.). Обаче, когато

трябваше да напиша дипломната си работа като аспирант-второкурсник, аз подготвих статия по физика на елементарните частици в лабораторията на професор Саката.

По онова време, изследванията, основаващи се на дисперсионните съотношения, възникващи в резултат на причинността, бяха популярни в света и “Бутстрапният модел”, пропагандиран от Г.Ф. Чу, беше на мода. В лабораторията на Саката съставният модел за елементарните частици, предложен от самият Саката, беше популярен.

По това време интересът на лабораторията беше привлечен от симетрията между лептоните и барионите при слабите взаимодействия, предложен от А.Гамб, Р.Е.Маршак и С.Окубо [2] на конференцията в Киев през 1951 г., а именно [3]

$$(v, e, \mu) \quad (p, n, \Lambda).$$

Затова, когато беше открито мюонното неутрино ν_μ , голяма част от лабораторията на Саката започна да изучава квартетни съставни модели, В действителност през 1964 г. такъв модел бе предложен от Зиро Маки [4], доцент в лабораторията.

Въпреки, че през този период не пишех статии, аз бях очарован от явлението на спонтанно нарушение на хиралната симетрия, за което научих от статиите на професор Намбу [5,6]. Интересувах се също от постиженията в алгебрата на токовете и частичното запазване на аксиалния ток (ЧЗАТ). Разширявайки познанията си в тази област, аз се натъкнах на важните публикации като „Аксиалния ток в бета-разпада” на М.Гел-Ман и М.Леви (1960) [7] и „Към въпроса за запазването на четността в слабите взаимодействия” на Т.Д.Ли и С.Н.Янг (1956) [8].

Тези работи станаха ключови в моите изследвания по физиката на частиците и засилиха моя интерес към това как се раждат частици чрез слаби взаимодействия. Изчислих, макар и да не публикувах, няколко физични величини в рамките на модела Намбу-Йона-Лазинио (НЙЛ) [6]. Например, пресметнах константата на разпад на пиона i_p , но аз разбих, че тази величина трябва да бъде доста малка, защото тя количествено характеризира силните взаимодействия. Настойчиво се опитвах да изясня как константата на разпада може да бъде намалена чрез промяната на свободните параметри в модела НЙЛ: константата на свързване и ултравиолетовото обрязване (УО). Не можах да получа определен отговор, понеже основният принос възникваше от импулси в областта на УВ-обрязване. Обаче, благодарение на тези изчисления осъзнах важността на пренормировките.

По това време учени по света се занимаваха с изследвания на висши порядъци в слабите взаимодействия, въпреки че тези изследвания не привличаха голямо внимание в Япония. Ако слабите взаимодействия се описват от четирифермионни токови взаимодействия, то висшите порядъци са разходящи. Затова авторите на тези изследвания замениха четирифермионните взаимодействия с диаграма, изобразена на фигурата, в която в промеждутъчното състояние се разпространяват тежки скаларни озони и тежки фермиони. Това изменение намалява обикновеното четирифермионно взаимодействие в границите на тежките маси на скаларите и фермионите. Въпреки, че такава модификация не води до удовлетворителен модел, все пак въвеждането на обмена със скаларни бозони дава възможност да се направят слабите взаимодействия

пренормируеми. Обръщам също внимание и на работите, в които упорито се изучаваха ефектите на висшите порядъци в ток-токовите взаимодействия.

Нашата лаборатория беше абонирана само за едно списание по физика и много от сътрудниците искаха да четат последния брой. За да се реши поне частично този проблем, в лабораторията на Саката беше организиран клуб, чиито членове по ред четяха новия брой и докладваха в лабораторията. Когато за пръв път дойде моят ред, в списанието беше публикувана статията на Фитч и Кронин [9], в която се съобщаваше за наблюдаването на нарушаването на СР-инвариантността. Това ми направи огромно впечатление и у мен възникна въпросът: каква ли е причината? Обаче нямаш никакво понятие как да подхожда към проблема, решението на проблема трябваше да почака осем години.

През втората половина на 60-те години моите интереси бяха основно насочени към хиралната динамика и хиралните симетрии. В частност, тогава забелязах, че в модела на Намбу-Йона-Лазинио константата на разпада на пиона е малка в сравнение с типичния мащаб, характеризиращ силните взаимодействия, и квадрата на масата на пиона играе ролята на величина от първи порядък по големината на параметър, характеризиращ нарушението на хиралната симетрия. До тогава не бях написал нито една статия по тази тема. Разглеждах изчисленията си като етюди по физика, по аналогия с етюдите, които художниците правят, изменяйки положението на обектите или композицията.

Идеята за спонтанното нарушение на хиралната симетрия в работата на Намбу и Йона-Лазинио беше много привлекателна, обаче безмасови силно взаимодействащи частици в действителност така и не бяха наблюдавани. Затова много физици започнаха да търсят начини да избегнат следствията от теоремата на Намбу-Голдстоун (НГ) [11,12]. Сред тях беше и Хигс. Причината за появата на НГ безмасови бозони е в това, че в аксиалния ток съществуват само два формфактора, пропорционални на $\gamma_5 p_\mu$ и $\gamma_\mu \gamma_5$ в аксиалния ток, и условието за запазване на аксиалния ток води до появата на безмасовия полюс в един от двата формфактора. Това е всъщност твърдението на теоремата на Намбу-Голдстоун. След това се появи работата на Хигс [10], в която след изчисления в кулоновска калибровка (която не е лоренцово-инвариантна) беше показано, че е възможно появяването на още един форм-фактор и по такъв начин се оказа, че е възможно да се заобиколи теоремата на Намбу-Голдстоун.

Именно в тази работа беше показано, че според механизма на Хигс не само изчезва безмасовият НГ-бозон, но и че калибровъчните бозони придобиват маса. Аз не можех да възприема логиката на Хигс. За късмет, скоро след това, в работата на Кибъл [13] беше дадена лоренц-ковариантна формулировка на механизма, която можах да схвана. Скоро се появи и електрослабата теория на С.Уайнбърг [14] и А.Салам [15]; освен това, в работата на Фадеев и Попов [16] бяха изяснени правилата на Файнман за теорията на Янг-Милс.

Във връзка с четирикварковия модел и моя интерес в изчисляването на поправки от висши порядъци в слабите взаимодействия, аз обърнах внимание на статията на

Глешоу, Илиопулос и Майани (ГИМ) [17], появила се през 1969г. и я показах на някои мои колеги. Тази работа отново ми напомни за четиркварковия модел, въпреки че всички сътрудници на лабораторията на Саката вече знаеха за нея.

През този период се появи още една статия, която с М.Кобаяши в нашата работа за нарушение CP-инвариантността [20] цитирахме по следния начин: „З.Маки и Т.Маскава, RИТР‘146” [18]. Тя беше написана не много преди нашата (с Кобаяши) статия за CP-нарушението и беше озаглавена „Симетрията на адроните и калибровъчната теория на слабите и електромагнитни взаимодействия”. Тя е малко известна, защото никъде не бях обявил, че е публикувана в *Progress of Theoretical Physics* 49(1973), 1007. Ако силното взаимодействие избере определено направление в четиркварковия модел, тогава неговата интерференция със слабото взаимодействие може лесно да предизвика CP-нарушение. След 1974г. стана известно, че силното взаимодействие се описва от кварковата хромодинамика (КХД) и няма никакво избрано направление, различно от онова, което се определя от масата на кварките, възникващо в резултат на взаимодействието с полето на Хигс. Обаче, това не беше известно през 1972 г., затова ни беше необходим подобен анализ на силните взаимодействия, проведен в споменатата статия.

Когато се появи електрослабата теория, интуитивно почувствах, че е настъпило времето да се върна към проблема за CP-нарушението. След завършване на аспирантурата си в течение на три години бях доцент в университета в Нагоя, а след това през 1970г. се прехвърлих в университета в Киото. Две години след това, през 1972 г., в Киото дойде и Кобаяши като асистент.

В Япония в началото на май има серия от традиционни празници, които се наричат Златната седмица. След края ѝ с Кобаяши започнахме нова съвместна работа. Беше добра възможност да работим заедно в една лаборатория. Чувствах, както вече споменах, че е настъпило времето за решаване на проблема за CP-нарушението, и я предложих като тема за нашата съвместна работа. Преди това, в Нагоя, Кобаяши се бе занимавал с този проблем.

Започнахме да изучаваме CP-нарушението, опирайки се на кварталния кварков модел в обединената електрослаба калибровъчна теория. Отначало трябваше да определим как левите и десни компоненти на четирите кварки се преобразуват от групата на електрослабата симетрия $SU(2) \times U(1)$:

- A) $4 = 2 + 2$;
- B) $4 = 2 + 1 + 1$;
- C) $4 = 1 + 1 + 1 + 1$.

Съществуват три възможни случая за всяка от левите и десни компоненти, затова трябваше да разгледаме общо девет варианта. Във всички варианти, освен (A,B), в който за левите кварки се реализира случаят A), а за десните – B), се вижда, че CP-нарушението е възможно, ако се вземе под внимание произволът в избора на фазите на полето на кварките. Изключение представлява случаят (A,B).

Мислех си, че това трябва да е решението на нашия проблем, защото останалите

случаи не подходат за случая, и попитах Кобаяши, съгласен ли е с това мнение. Кобаяши наклони главата си малко назад и каза: „Ще обмисля това детайлно довечера”. Вероятно е знаел резултата, но отговори така за всеки случай. На следващия ден ми каза: „Този случай не е подходящ, защото от него следва неправилен знак за отношението g_V/g_A , който противоречи на експеримента”.

По това време бях главен секретар на профсъюза в университета в Киото, когато възникна сериозният проблем, свързан с наложителното съкращаване на секретарите в нашия факултет по естествени науки. Не можех да се концентрирам върху научните си изследвания и през цялото време мислех за тези съкращения, защото тези секретари действително поддържаха сериозно нашите млади изследователи. Обсъждах с Кобаяши научните проблеми сутрин, а в профсъюза работех след обед. Връщайки се вечер къщи, се наслаждавах на вечеря със семейството си, и обсъждахме събитията от изминалия ден. Едва след това, вземайки душ, можех да мисля за моите научни изследвания. Ето в какъв режим живеех тогава.

След като Кобаяши изключи случая (A,B), ние започнахме да търсим друго решение, опитвайки се да обясним как могат да се обяснят CP-нарушения като четиркварковия модел. Работихме сериозно в продължение на месец. Веднъж, къпейки се, в главата ми възникна мисълта: изглежда, не съществува приемлив модел, способен да обясни CP-нарушението в четиркварковия модел, ако се придържаме към пренормируемата теория на слабите взаимодействия. Затова реших да напиша статия, излагайки отрицателните резултати за това, че CP-нарушението не може да се обясни в четиркварковия модел в рамките на пренормируемата електрослаба теория.

Решавайки да завърша написването на тази толкова слаба статия и обмисляйки оправдание, изскочих от ваната. Вероятно, това ме освободи от привързаността ми към четиркварковия модел. Неочаквано разбрах, че всичко което бяхме обмисляли, може добре да проработи в шесткварковия вариант. От нашите многочислени предишни изчисления беше се изяснило, че комплексната фаза в такъв случай трябваше да се запазва.

В рамките на обединената калибровъчна теория на електрослабите взаимодействия съществува скаларно поле, наречено поле на Хигс. Когато то придобие ненулево вакуумно средно, кварковите полета стават масови. Ако сега запишем кварковите полета като полета, притежаващи определени маси, то операторите на зарядения ток ще съдържат някаква унитарна матрица U . Ако в елементите на матрицата U се появи комплексна фаза, то възниква CP-нарушение.

Това обяснение може да даде неправилна представа, че комплексната фаза винаги води до CP-нарушение. В действителност, понеже полето на кварките е комплексно, ние имаме свободата за избор на техните фази: $q_i \rightarrow e^{i\alpha_i} q_i$. Ясно е, че физичните величини не зависят от подобно преобразуване на фазите, но матричните елементи на матрицата U при това се изменят. Да напомним, че заряденият ток има следната структура: комплексно спрегнатото поле на горните кварки u_i , умножено на полето на долните кварки d_j , умножени на елементите на матрицата U_{ij} , т.е. $u_i U_{ij} d_j$. Тук i и j се изменят от 1 до N , където N е броят на кварките.

По такъв начин, изменението на фазата на $2N$ на кварковото поле

$$u_i \rightarrow e^{i\alpha_i} u_i, \quad d_j \rightarrow e^{ib_j} d_j \quad (1)$$

води до изменение на фазата на матричните елементи

$$U_{ij} \rightarrow e^{-i(\alpha_i - b_j)} U_{ij} \quad (2)$$

Затова от $2N$ фази за $2N$ кваркови полета, $2N-1$ степени на свобода на свобода могат да бъдат използвани за изменение на фазата на матрицата U , понеже една фаза, еднаква за всички кваркови полета, не изменя матрицата U .

Унитарната матрица U с размери $N \times N$, която се появява в заредения ток, когато кварковите полета, дублети относно $SU(2) \times U(1)$, се пренормират в термините на полетата, което представлява масовото им състояние, в общия случай има $N(N+1)/2$ степени на свобода за комплексните фази. Ако отчетем свободата при избора на фазите на кварковите полета, то остават физични комплексни фази в матрицата U .

$$N(N+1)/2 - (2N-1) = (N-1)(N-2)/2 \quad (3)$$

Този израз става равен на нула при $N=1$ и $N=2$, което съответства на дву- и четирикварковите случаи съответно и обяснява, защо в тези случаи отсъстват комплексни фази в матрицата U и защо няма СР-нарушение при дву- и четирикварковите модели. Обаче, ако се разгледа случаят с $N=3$, т.е. шесткварковият модел, то изразът (3) става равен на единица и затова СР-нарушението става възможно за пръв път!

Така ние свършихме своята работа. Стана ясен произходът на СР-нарушението, поне частично. Обаче, проверката на тази теория продължи доста дълго време: 30 години, при значителни усилия на много експериментатори. Сега искам да благодаря на всички, които поддържаха този велик проект на човечеството.

Литература

1. Sakata S „On a composite model for the new particles“ , Prog.Theor.Phys. 16 686 (1956)
2. Gamba A, Marshak R E, Okubo S “On a symmetry in weak interaction” Proc.Natl.Acad. Sci.USA 45 881 (1959)
3. Maki Z, Nakagawa M, Ohnuki Y, Sakata S “A unified model for elementary particles” Prog.Theor.Phys. 23 1174 (1960)
4. Maki Z “The fourth barion, Sakata model and modified B-L symmetry” Prog.Theor.Phys. 31 331 (1964)
5. Nambu Y “Quasi-particles and gauge invariance in the theory of superconductivity” Phys. Rev. 117 648 (1964)
6. Nambu Y, Jona-Lasinio G “Dynamical model of elementary particles based on an analogy with superconductivity” Phys.Rev. 122 345 (1961)
7. Gell-Mann M, Levy M “The axial vector current in beta decay” Nuovo Cimento 16 705 (1960)
8. Lee T D, Yang C N “Question of parity conservation in weak interactions” Phys.Rev. 104 254 (1956)

9. Christenson J H, Cronin J W, Fitch V I, Turlay R “Evidence for the 2 decay of the K2 meson” Phys.Rev.Lett.13 138 (1964)

10. Higgs P W “Broken symmetries, massless particles and gauge fields” Phys.Lett. 12 132 (1964); “Spontaneous symmetry breakdown without massless bosons” Phys.Rev. 145 1156 (1966)

11. Goldstone J “Field theories with ‘superconductor’ solutions” Nuovo Cimento 19 154 (1961)

12. Goldstone J, Salam A, Weinberg S “Broken symmetries” Phys.Rev. 127 965(1962)

13. Kibble T W B “Symmetry breaking in non-Abelian gauge theory” Phys.Rev. 155 1554 (1967)

14. Weinberg S “A model of leptons” Phys.Rev.Lett. 19 1264 (1964)

15. Salam A “Weak and electromagnetic interactions”, in Elementary Particle Theory: Proc. Of the Nobel Symp., 1968, Lerum, Sweden Vol.2

16. Fadeev LD, Popov V N “Feynman diagrams for the Yang-Mills field” Phys.Lett.B 25 29 (1967)

17. Glashow S L, Iliopoulos J, Maiani L “Weak interactions with lepton-hadron symmetry” Phys.Rev. D 21285 (1970)

18. Maki Z, Maskawa T “Hadron symmetries and gauge theory of weak and electromagnetic interactions” Proc.Theor.Phys. 49 1007 (1973)

19. Kobayashi M, Maskawa T “CP-violation in the renormalizable theory of weak interaction” Prog.Theor.Phys. 49 652 (1973)

Превод: **Н. Ахабабян**
Редактирал: **В. Карайончев**

Забележка на преводача

* Нобеловата награда по физика за 2008 г. е присъдена на Ю. Намбу, М. Кобаяши и Т.Маскава за „откриване на причините за симетрично деление, според което в природата трябва да има три семейства кварки”.

Нобеловта лекция на Ю.Намбу „ Спонтанно нарушение на симетриите във физиката на високите енергии: пример за плодотворен обмен на идеи „ – вж. „Светът на физиката”, кн. 33/10, №4, 384.

Toshihide Maskawa, „What Does CP Violation Tell US?”, Nobel Lecture, December 8, 2008.

ПОСЕТЕТЕ УЕБ-СТРАНИЦАТА НА
СЪЮЗА НА ФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ
НА АДРЕС:
<http://www.phys.uni-sofia.bg/upb>

ПАСКУАЛ ЙОРДАН – ЗАБРАВЕН СЪЗДАТЕЛ НА КВАНТОВАТА ТЕОРИЯ

Иван Тодоров

*Не търси решения ... съвременният човек няма решения.
Александър Херцен (1812-1870), С того берега (1851)*

Измежду пионерите на квантовата механика: Хайзенберг, Борн, Йордан, Дирак, Паули и Шрьодингер, единствен Йордан не е удостоен с Нобелова награда; само той не участва и в знаменитата (пета) Солвеевска конференция през 1927 година. С опетнена репутация – заради сътрудничеството си с национал-социалистите и непопулярните си консервативни възгледи – живял 35 години след Втората световна война, той остава непознат за новото поколение физици, което се прославя с приносите си в създадената от него (и Дирак) квантова теория на полето.

1. Начало

1.1 Хановер: родители, книги, мечти. Паскуал Йордан (1902-1980) дължи испанското си име на своя прапрадядо, Паскуал Йорда, потомък на благородници от южна Испания (с родословно дърво, проследено до 9-и век), отседнал в Хановер след победата на армиите на Уелингтън над Наполеон при Ватерло през 1815 (служил в „Кралския Великобритански Хановерски хусарски полк“ до 1833 г. – виж [Sc] ([PJ] с. 48); според [S99] Йорда е бил участник в отстъпващата от Москва Наполеонова армия).

До 20-годишна възраст, Паскуал (както се кръщава всеки първороден син на фамилията Йордан) живее и учи в Хановер. Баща му, художник, го запознава от малък с перспективата [M] – а заедно с това и с геометрията. Той въвежда Паскуал и в поредицата научно-популярни книги *Космос*. (Това е заглавието на останалия незавършен, излязъл посмъртно, пет-томен труд на знаменития немски учен-изследовател и натурфилософ Александър фон Хумболт (1769-1859), предшественик на Йордан в мечтата да обхване всичко в едно съчинение.) Майка му му разказва за растения, животни – и звезди. „От нея научих, че светлината идва за осем минути от слънцето до нас“ си спомня 60-годишният Йордан (виж [MR] 3, I.4 и [S]). Отначало момчето мисли да стане художник и архитект, но постепенно интересите му се местят – през зоология и биология – към физика и математика. Израснал в традиционно лютеранско обкръжение юношата (12–годишен) възприема материалистичния дарвинизъм болезнено, като бедствие; просветеният му учител по религия го убеждава, че всъщност няма противоречие между наука и религия. (Тази тема го придружава до края на живота: той ѝ посвещава много статии и още повече доклади – виж [Sc] в [PJ] с.51, както и [J41] с.163-168.) „На 14 години аз замислях как един ден ще напиша голяма книга за всички области на науката“, си спомня Йордан в интервю с Томас Кун¹ (цитирано в

¹ Thomas Kuhn (1922-1996) – физик и философ, автор на тезата, че науката се развива чрез смяна на парадигмите.

[MR] 3, с. 45). В някакъв смисъл Йордан остава верен на своите юношески мечти: той не се задържа дълго на една тема и дори на една наука (нещо противоположано, според Дайсън, за човек, който иска да получи Нобелова награда).

Списъкът от книги, които Йордан изучава като ученик (и за които продължава да си спомня след повече от четири десетилетия) е впечатляващ: учебник по диференциални и интегрални уравнения от Нернст и Шьонфлис², (излязъл през 1895 г. и преиздаван до 2010г. включително!); механиката (и други книги) на Мах³, популярна книга на Шлик⁴ „Пространство и време ...“ (за теорията на относителността). Заинтригуван от въпроса как материята се превръща в различни форми на енергия, решава да научи всичко за атомната физика.

През 1921 г. Йордан записва физика във Висшето техническо училище в родния Хановер, но разбрал, че физиката в Хановер не е на висота (а и баща му загубил надежда момчето да се върне към архитектурата), през лятото на 1922г., той се прехвърля в Университета в Гьотинген, където изучава редовните курсове по математика, физика и зоология(!).

1.2 Гьотинген. Основан през 1734г. от Георг Август⁵ от Хановер, „за да разпространява идеите за академична свобода и просвещение“, Гьотингенският университет е сравнително нов (Хайделбергският, например, го предшества с около 350 години), но скоро се нарежда между най-знаменитите в Германия: Гьоте (1749-1832), братя Грим (1785-1862, 1786-1859), Хайне (1797-1856), работят в университетската библиотека, Бисмарк (1815-1898) учи там право; Гаус (1777-1855), Дирихле (1805-1859) и Риман (1826-1866) дават лицето на математиката на университета през 19-и век. Към 1900г., Давид Хилберт (1862-1943), Херман Минковски (1864-1909) и Феликс Клайн (1849-1925) превръщат Гьотинген в Мека на световната математика. Университетът разцъфтява през първата трета на 20-и век: през него минават 45 нобелови лауреати, бащата на феноменологията, философът Едмунд Хусерл (1859-1938) преподава (а социологът Макс Вебер учи) там. Историята завършва тъжно: фанатични националисти (по-изявени между местните студенти отколкото например в Хамбург), ентусиазирани от идването на власт на Хитлер през 1933 г. способствуват за разгонване на „еврейската наука“⁶ и с това разгромяват целия Университет. А много от тях са честни, надарени младежи,

² Walter Nernst (1864-1941) – физикохимик, лауреат на Нобелова награда по химия (1920), Arthur Schoenflies (1853-1928) – математик, известен с работи по приложение на теорията на групите към кристалографията.

³ Ernst Mach (1838-1916) – австрийски физик и философ, повлиял на Айнщайн и Паули, руган от Ленин.

⁴ Moritz Schlick (1882-1936) – физик-философ, учил при Планк, основател на Виенския неопозитивистки кръг.

⁵ Georg II. August (1683-1760) от 1727 крал на Великобритания и принц-електор на Свещената Римска Империя.

⁶ Виж спомените от това време, [ML], на американския математик Saunders Mac Lane (1909-2005).



Паскуал Йордан в Института на Нилс Бор в Копенхаген, през 1936 г.

като ценения днес математик Тайхмюлер⁷, доброволец, загинал на източния фронт. Десетилетия след края на войната, с много вложени усилия и средства, Гьотинген се възвръща като значителен научен център в Германия, но неговата световна слава си остава спомен от миналото. (Дали могат да се стреснат от подобен пример онези наши управляващи, които рушат с хъс градените повече от век българска наука и образование, затова, че не пасвали на тяхната поредна „единствено правилна идеология“?)

И в Гьотинген, Йордан пропуска (твърде ранните) часове по опитна физика. „Така“, шегува се той (в интервю от 1963 г.), „станах физик без да слушам нито един курс по физика.“ Вместо това, проявява интерес към лекциите по частни диференциални уравнения на Курант⁸ и дори започва да му сътрудничи. Той е на път да се прехвърли да следва математика, когато среща Макс Борн (1882-1970), директор на основания предната година Институт по теоретична физика. Това е преломен

момент в кариерата на Йордан. След смъртта на Борн (близо половин век по-късно), той пише: „Борн беше не само мой учител, който ... ме въведе в света на физиката – неговите лекции бяха чудесна комбинация на интелектуална яснота и поглед, който разширява хоризонта. Това беше човекът, който ... наред с родителите ми, оказва най-дълбокото, най-дълго продължилото влияние върху моя живот.“ В началото, той просто помага на Борн да попълва формули в машинописния текст на неговата статия по динамика на кристални решетки за Енциклопедията. Опитът на Борн да го включи към своя нов проект, молекулната теория, свързваща атомната физика с физиката на твърдото тяло, обаче, не го ентусиазира: Йордан проявява интерес към по-фундаментални въпроси.

1.3 Кванти на светлината. От Айнщайн до Комптън. Докторска дисертация
„...смелата, да не кажа безумна хипотеза за ... частици на светлината“
Миликен⁹, 1916 г.

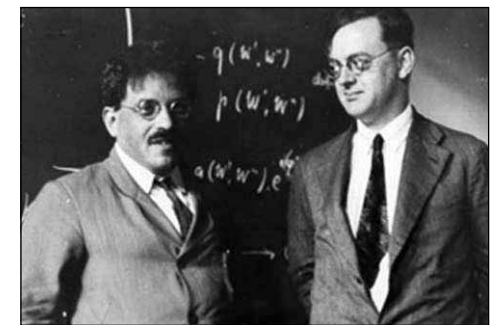
⁷ Oswald Teichmüller (1913-1943), за 6 години пише 34 статии, главно по геометрична теория на функциите.

⁸ Richard Courant (1888-1972) – политемигрант от 1933; основава институт по приложна математика в Ню Йорк.

⁹ Robert A. Milikan (1868-1953); реакция на американския физик-експериментатор (Нобелова награда, 1923 за измерването на електронния товар и на фотоелектрическия ефект през 1915) на статията на Айнщайн от 1905.

Историята на фотона¹⁰ е централна за физиката. Съвременното разбиране е, в някакъв смисъл, синтез на представата за светлината като поток от частици, която господства от времето на древните атомисти до Гасенди (1592-1655) и Нютон (1643-1727), и вълновата теория на Хук (1635-1703) и Хюйгенс (1629-1695), която се налага след работите на (Томас) Юнг (1773-1829) и Френел (1788-1827) по интерференция и поляризация. Ако при създаването на специалната и обща теория на относителността Айнщайн (1879-1955) има предшественици (Лоренц (1853-1928) и Поанкаре (1854-1912) и съперник (Хилберт), то в предсказването на светлинните кванти при изучаване на фотоефекта (1905 г.), за което му е присъдена Нобеловата награда за 1921 г., той не просто изпреварва своите съвременници, но ги оставя в недоумение. (През 1906 г. той си дава сметка, че теорията на Планк неявно използва хипотезата за светлинния квант; през 1909 г. извежда формула за флукуациите на енергията, която свързва корпускуларните и вълновите свойства и мечтае за сливане на двете гледни точки – [P], раздел 21a; през 1916-17 г. той завършва корпускуларната картина, като приписва на квантите не само определена енергия, но и определен импулс – [P], 21c.) Когато през 1913 г. го препоръчва за член на Пруската Академия на науките, Макс Планк (1858-1947) започва с похвала: „едва ли ще се намери голям проблем, с каквито съвременната физика е тъй богата, в който Айнщайн да не е направил забележителен принос“, но добавя: „Не бива прекалено да го виним, че понякога не попада в мишената със своите спекулации, както при неговата хипотеза за светлинните кванти...“ ([P] 19f). Дори Миликен, в работата си от 1915г., след като пише, че „фотоелектрическо уравнение ... предсказва точно наблюдаваните резултати“, добавя: „Но полукорпускуларната теория, въз основа на която Айнщайн извежда своето уравнение, изглежда сега съвсем несъстоятелна.“ ([P] 18a). Ефектът на Комптън¹¹ за разсейване на фотони от електрони показва, че не само енергията на фотона се предава на кванти, $E=h\nu$, но (както предсказва Айнщайн в работите си от 1916-17г.) това е вярно и за неговия импулс, чиято абсолютна стойност p е свързана с енергията по формулата $E=pc$ за частици с нулева маса.

Нилс Бор (1885-1962), автор, наложил квантовия модел на атома, също остава убеден привърженик на вълновата теория; той прави отчаян опит (заедно със своите млади сътрудници Крамерс¹² и Слатер), дори след работата



П.Еренфест и П.Йордан

¹⁰ Наименование, дадено от американския физико-химик Gilbert Newton Lewis (1875-1946) в статия в Nature, 1926.

¹¹ Американският физик Arthur Compton (1892-1962) получава Нобеловата награда по физика 1927 за своя ефект.

¹² За Hendrick Kramers (1894-1952) и за работата „BKS“ – виж *Светът на физиката (СФ)* 31:1 (2008) 43-53.



П.Йордан и В.Паули

на Комптън, да избегне изводите на Айнщайн (с цената на отказ от закона за запазване на енергията при индивидуалните сътолкновения на светлина с вещество). Само Паули¹³ изследва (през 1923г.) взаимодействието на електрони с радиацията, като използва хипотезата за светлинните кванти. Това дава повод на Айнщайн, заедно с Паул Еренфест (1880-1933), отново да се върне към темата. Заин-

тригуван от тези работи, Йордан изнася доклад по тях на семинара на Борн, след което е благославен да посвети докторската си дисертация на обсъждания проблем. Йордан се опитва да намери компромис между вълновата и корпускуларната теория, като се отказва да припише на разсеяната светлина определен импулс, а предполага (в дисертацията, завършена през ноември 1924 г. и публикувана месец по-късно) непрекъснато нейно разпределение по различни направления. Айнщайн не приема тази идея, но я намира достойна да ѝ посвети своя кратка статия. Макар и ценен от Борн, Йордан, който силно заеква, носи очила и е нисък на ръст ([S] с.7), не е приет като равен в компанията на малко по-възрастните, но по-активни и напористи колеги, Паули и Хайзенберг¹⁴, негови предшественици като асистенти на Борн. Вниманието на Айнщайн го ласкае и стимулира поврат в неговите възгледи. Йордан му благодари и продължава работата като приема „новата вяра“ (в трета своя статия от началото на 1925 г.). За разбирането на връзката между вълни и частици, обаче, е необходима последователна квантова теория – и момчетата от Гьотинген са на път да я създадат: работата на 22-годишния Йордан „За термичното равновесие между електроните и излъчването на абсолютно черното тяло“ е получена от списанието на 8 юли 1925 г.; само след три седмици, Борн, развълнуван от това, което току-що е прочел, представя там ръкописа „Квантово-теоретична интерпретация на кинематичните и механични съотношения“, който 23-годишният Хайзенберг му е връчил, преди да замине за Лайден и Кеймбридж, с молба да го прегледа.

¹³ Wolfgang Pauli (1900-1958), Нобелова награда 1945; виж Бушев, Непознатият В. Паули, *СФ* 32:3 (2009) 312-327.

¹⁴ Werner Heisenberg (1901-1976), Нобелова награда 1932; виж physics/0503235, *СФ* 25:1, 4 (2002) 38-44, 319-328.

2. От матричната механика до квантовата теория на полето (1925-1935)

Когато гледаме назад към развитието на физическата теория през периода от 1925 г. до 1930 г., изпитваме чувство на радост и шок пред чудото.

Рудолф Хааг, 1989 ([E] с.23)

Възникване на матричната механика: Гьотинген, юли-декември, 1925

Паскуал Йордан е невъзпитаният герой между създателите на квантовата механика.

Силван Швебер, [Sch] с. 5

Четири проблясъка в теорията подготвят създаването на квантовата механика.

1900: Макс Планк не просто налучква формулата за зависимостта налъчението на абсолютно черното тяло от честотата и от температурата: той отгатва необходимите, макар и диво звучащи тогава, предпоставки, на които тя се основава: (1) пълната енергия се състои от крайни елементи, *кванти*, пропорционални на честотата ν на светлинната вълна, $\epsilon=h\nu$ (*константата на Планк h* става характерен белег за всеки от четирите етапа); (2) квантите трябва да са *неразличими* – предугажда статистиката на Бозе¹⁵-Айнщайн, открита след повече от две десетилетия. Така, консервативният по природа Планк, на 42 години, става революционер – против волята си (виж [P], 19а: „From Kirchhoff to Planck“).

1905: Айнщайн пръв разбира революционния смисъл на работата на Планк. Светлинният квант е реален: може да избива електрони от метална повърхност – да предизвиква фотоефект (виж 1.3).

1913: Бор осъзнава, че спектрите на излъчване и поглъщане, тези „отпечатьци от пръстите“ [B05] на атомите, открити от Кирхоф (1824-1887) и Бунзен (1811-1899) през 1861г., се дължат на преходи между стационарни състояния и извежда формулата на Балмер за спектъра на водородния атом ([P86] 9(e)).

1923: Вдъхновен от съжителството на вълнови и корпускуларни свойства на фотона, де Бройл¹⁶ предсказва, че дуализмът вълна-частица ще се прояви и при електрона ([P86] 12(c)).

Хайзенберг завършва своята статия (преведена на английски и коментирана в [SQM]) с препоръка за „по-задълбочено математично изследване на методите, използвани тук твърде повърхностно“. Борн бързо съобразява, че странното некомутативно произведение в труда, който е представил, е познатото на математиците матрично умножение. Дава си, обаче, сметка, че работата с безкрайни матрици ще е трудоемка и

¹⁵ Satyendra Nath Bose (1894-1974) публикува статия за новата статистика (с подкрепата на Айнщайн) през 1924.

¹⁶ Френският благородник Louis de Broglie (1892-1987) е удостоен с Нобеловата награда по физика за 1929 г.

ще е добре да я дели с млад сътрудник. На път за конференция на немското физическо дружество в ХанOVER (на 19 юли) Борн среща своя бивш асистент, Паули, веднага му разказва за ролята на матриците в работата на Хайзенберг и му предлага заедно да разработят математичната формулировка. Паули отказва в типичния си безпardonен стил: „Знам, ти си любител на уморителни, сложни формализми... Само ще развалиш физическата идея на Хайзенберг със своята безплодна математика.“ След този отказ, Борн се обръща към Йордан. Изборът е щастлив: 22 годишният младеж е компетентен и пълен със заряд. Застигнат от поредна криза на пренапрежение ([B05] с. 1004), Борн може да отиде на почивка: когато се връща през септември, Йордан вече е готов с ръкописа, който с малки редакционни поправки постъпва в списанието преди края на месеца. В тази работа Йордан пръв получава „Хайзенберговото канонично комутационно съотношение“ $2\pi i(pq - qp) = \hbar$, подсказано от Борн (и изписано от наследниците на Борн на неговата надгробна плоча в Гьотинген). Дирак¹⁷, връстник на Йордан, извежда това равенство независимо, като свързва комутатора $[p, q] \equiv pq - qp$ с класическата скобка на Поасон $\{p, q\}$ между импулса p и координатата q . За разлика от своя приятел Паули, Хайзенберг приветствува развитието на математичния апарат на матричната механика. Десетилетия по-късно, той говори за урока, който е извлякъл от изясняването на природата на некомутативното умножение: „Ако човек срещне трудност в пресмятанията, в чиито резултат е сигурен, той не бива да гледа да я избута на периферията, а трябва да я направи център на цялата работа.“ Още преди завършването на статията на Борн и Йордан, той се включва в работата, най-напред с писма до Йордан от Копенхаген. Сътрудничеството (*Dreimännerarbeit* – работата на тримата мъже) е плодотворно, но не е лесно. Хайзенберг смята, че трябва да почнат с приложенията към физически интересни системи (като водородния атом), вместо да развиват апарата (включвайки квантова теория на електромагнитното поле), както искат Борн и Йордан. Той настоява да постулират *каноничните комутационни съотношения*¹⁸ за система с n степени на свобода ([MR] 3, III.1),

$i[p_j, q_k] = \hbar \delta_{jk}$ ($\hbar = \hbar/2\pi$), $[p_j, p_k] = 0 = [q_j, q_k]$, $j, k = 1, 2, \dots, n$ ($\delta_{jj} = 1$, $(j-k)\delta_{jk} = 0$; $i^2 = -1$), (1)
а не да ги извеждат от хамилтъновите уравнения за движение, както се мъчат неговите съавтори.

Четвърт век по-късно Вигнер¹⁹ отново поставя проблема за извода в статията: *Do the equations of motion determine the quantum mechanical commutation relations?* (Phys. Rev. 1950). Съдържателен (нееднозначен) отговор на въпроса дава теорията на *парастатистиките* (на Green, Messiah, Greenberg) и на по-общи (супер Ли-алгебрични) статистики, въведени от българския физик-теоретик Чавдар Палев.

¹⁷ Paul Dirac (1902-1984), PhD: Cambridge, 1926; дели Нобеловата награда за 1933 с Erwin Schrödinger (1887-1961).

¹⁸ Означението $\hbar$ за *редуцираната константа на Планк*, $\hbar/2\pi$, е въведено от Дирак в неговия учебник [D30].

¹⁹ Jeno (по-късно Eugene) P. Wigner (Budapest, 1902 – Princeton, 1995) Нобелова награда по физика, 1963.

Йордан и Хайзенберг извеждат комутационните съотношения между трите проекции на ъгловия момент $\mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = (M_x, M_y, M_z)$ и спектъра от собствени стойности на $\mathbf{M}^2$ и на $M_z = x p_y - y p_x$:

$$[M_x, M_y] = i\hbar M_z, \mathbf{M}^2 \equiv M_x^2 + M_y^2 + M_z^2 = j(j+1) \hbar^2, M_z = m \hbar, j=0, \frac{1}{2}, 1, \dots, m = -j, 1-j, \dots, j-1, j. \quad (2)$$

Последният раздел от статията [BHJ] (превод в [SQM]), посветен на флуктуациите на черното лъчение, е писан от Йордан²⁰ и съдържа първия квантово-механичен извод на разпределението на Планк – работа, която поставя началото на квантовата теория на полето. В разговор от 1962 г. с редактора на сборника [SQM], Ван дер Варден (1903-1995), Йордан споделя, че това е неговият най-значителен принос в квантовата механика, принос, останал неразбран и неоценен.

Под влиянието на Хайзенберг, Паули променя язвителното си отношение към матричното смятане и сам го прилага за пресмятане на нивата на енергия на водородния атом (за което пише в писмо до своя приятел, преди да го публикува – [MR] 3, IV.4, [SQM]).

Активността на Йордан през четирите години 1925-1928 поразява въображението. [BHJ] е осмият научен труд с негово участие, завършен през 1925 (между тях е и книга от над 300 страници за разсейване на електрони във вещество, в съавторство с експериментатора Франк²¹, излязла през 1926). Като че ли това не е било достатъчно, Йордан връчва на Борн, редактор на *Zeitschrift für Physik*, в навечерието на заминаването му за САЩ (в края на октомври 1925) статия за „статистиката на Паули“. Борн я слага на дъното на куфара си и ... я открива там едва след 6 месеца, когато се връща от Америка ([S99] [S06]). През това Ферми²² и (забравилите за него, [F] глава 7) Дирак преоткриват същата статистика, която днес носи техните имена.

Епилог: седмица преди излизането на [BHJ], Шрьодингер предава за печат първата от серията от четири статии на тема *Квантуването като задача за собствени стойности*, в които поставя основите (на вдъхновената от де Бройл) вълнова механика, на пръв поглед различна, но еквивалентна (както и той сам показва), на матричната механика на Борн, Хайзенберг и Йордан.

Състезателният елемент между Гьотингенската група и „най-странният човек“ (Дирак) [F] е факт: R.H. Fowler (1889-1944), патрон на Дирак в Кеймбридж, прокарва статията „Основните уравнения на квантовата механика“ (виж [SQM]) за по-малко от месец; първите учебници по квантова механика – на Дирак и на Борн и Йордан излизат все през 1930. При това, отношенията на Дирак с „тримата мъже“ остават повече от

²⁰ За това свидетелствува писмо на Хайзенберг до Паули от октомври 1925 (виж [S] с. 9). Йордан се е вдъхновил за тази работа от лекция на гостувалия в Гьотинген през юни Еренфест, приятел на Айнщайн и Борн ([MR] 3, IV.2).

²¹ James Franck (1882-1964), дели с Г. Херц Нобелова награда, 1925, за действието на електрони върху атоми.

²² Enrico Fermi (1901-1954), емигрира в Америка след като получава Нобеловата награда по физика, 1938.

колегиални: те си кореспондират; при първото си посещение в Европа Дирак избира да отиде в Гьотинген (за 6 месеца); Хайзенберг и Дирак остават близки приятели до края на живота си.

Айнщайн, за когото се казва, че не приема квантовата механика, предлага [ВНЈ] за Нобелова награда още през 1928 – наред с де Бройл и Шрьодингер (но не Дирак²³) – виж [Р] 31 (с. 525).

2.2. *Теория на преобразуванията. Вторично квантуване (1926-28).* Търсенето на връзка между двете независими формулировки на квантовата механика, „матричната“ и „вълновата“ довежда Дирак и Йордан (най-младите!) до важно развитие: обобщение на инвариантността на законите на класичната механика относно канонични преобразования за квантовия случай. Това дава критерий, кога две описания на едно и също явление се отличават само по избора на променливите. За Дирак тази работа (писана в усамотение в библиотеката в Копенхаген) е любима („my darling“ – виж [F] глава 8). Той не приема съветите на Бор за редактиране на текста. Но има конкуренция: през декември 1926 г., още не дошли коректурите на статията му, той разбира, че не само той е мислил в тази насока: Йордан е получил същия резултат²⁴.

Дружеското им съперничество (но, за жалост, не сътрудничество) продължава и през 1927 г., когато двамата са в Гьотинген и работят паралелно по квантовата теория на излъчването. Статията на Дирак [D27], в която той въвежда операторите на рождение и унищожение, отбелязва за научната общност (не прочела последната част на [ВНЈ]) рождението на квантовата електродинамика. През 1927-28г. Йордан пише пет статии (първите две – самостоятелни: [J27], [J27H], след това с Оскар Клайн (1894-1977) и с Вигнер [JW], накрая с Паули), посветени на „вторичното квантуване“, или квантуването на вълнови полета. Нужно е въображение, за да оценим новостта (за времето си) и значението на тези работи. Защо, например, да се квантува вълновата функция на вече квантовото уравнение на Шрьодингер? Ето една неочаквана причина. Проблем, който все още вълнува физиците по онова време, е смисълът на вълновата функция ψ . Шрьодингер се опитва, през 1926, да й даде реалистична интерпретация, да мисли за квадрата на модула на ψ като за плътност на електронната материя ([D86] с. 237). Едно от възраженията срещу подобна интерпретация (повдигнато от патентования критик Паули) се базира на необходимостта от въвеждане на многомерно конфигурационно пространство при разглеждане на задачата за няколко частици. Разглеждайки ψ като операторно поле, Йордан формално възстановява тримерната картина при работа с произволен – даже променлив – брой частици. По-нататък, Йордан и Клайн са щастливи да открият, че нормалното

²³ През 1926 Айнщайн пише на Еренфест: „Трудно ми е с Дирак. Това балансиране между гения и лудостта, от което на човек му се завива свят, е ужасно.“, и, след няколко дни, „Съвсем не разбирам Дирак“ ([Р] 25a)).

²⁴ Още един, забравен предшественик на „любимата“ работа е Fritz London (1900-1954) от университета в Щутгарт, по-добре познат с изследването си на молекулата на водорода и на свръхпроводимостта. Той пръв въвежда, през 1926, понятието Хилбертово пространство в квантовата механика.

подреждане на операторите позволява да се отстрани по естествен начин трудността с безкрайната собствена енергия ([D86] с. 234-35). Йордан и Паули [JP] създават първата лоренц-инвариантна квантова теория на полето, като заменят каноничните комутационни съотношения (на осцилатори) с локалната комутативност на (свободното) електромагнитно поле. (Две години по-късно, Хайзенберг и Паули правят пръв опит за създаване на теория на взаимодействащи електромагнитно и заредено спинорно поле.) Изпреварила времето си е работата на Йордан за квантови полета на Ферми, където комутаторите се заменят с антикомутатори (по идея на Паули – виж бележки под линия 75 и 76 в [D86] с. 230), идея, реализирана в окончателна форма в [JW]. Каноничните *антикомутационни съотношения* се възприемат трудно от съвременниците, тъй като те нарушават принципа на съответствието: в границата $\hbar \rightarrow 0$ електронното поле се превръща в строго антикомутираща („грасманова“) променлива – обект, непознат в класическата физика. За Йордан е естествено да въведе термина *вторично квантуване*, тъй като той започва с квантуването на вече квантовата вълнова функция. Дирак, напротив, си поставя за цел да квантува класическа система: фотоните на електромагнитното лъчение [D27]. Това може да ни обясни, защо даже той, съ-откривател на статистиката на Ферми-Дирак, не е готов да приеме квантовите антикомутатори. На Солвеевския конгрес през 1927 той се аргументира, че такова квантуване „е много изкуствено от обща гледна точка“ ([D86] с. 239). След близо половин век Дирак си спомня: „Статистиката на Бозе ... беше свързана със система от осцилатори. Липсваше подобна картина за статистиката на Ферми и аз чувствах, че това е сериозен недостатък ([D] с. 140). За Йордан, квантовата теория на полето е фундаментална и, както той подчертава в своята лекция [J29] на конференцията в Харков през 1929, тя трябва да се извежда от общи принципи, а не от някаква отнапред зададена класическа теория ([Sch]). Йордан предусеща връзката между спина и статистиката – теоремата, че полета с (полу)цял спин локално (анти)комутират, доказана от Маркус Фирц (1912-2006) и Паули 12 години по-късно²⁵. В края на 1927, отново в Кеймбридж, Дирак открива, след няколко месеца уединена работа, своето знаменито уравнение на електрона (статията му постъпва в редакцията на 2 януари 1928). Дирак споменава за своето откритие (в послепис от 10 реда) в писмо до Борн. За колегите на Борн, видели уравнението, то е истинско чудо. Йордан и Вигнер, които работят в същата насока, са шокирани. Йордан изпада в депресия ([F] глава 11).

2.3. След Гьотинген. Наследството на Йордан в квантовата теория на полето

Измежду създателите на квантовата механика Паскуал Йордан е определено най-малко известният, макар че той е допринесъл повече от когото и да било за рождението на квантовата теория на полето
Оливиe Даригол [D86]

През февруари 1927 Йордан предава хабилитационен труд [J27H], в който се

²⁵ Виж педагогичното обсъждане на тази теорема, нейната история и разбиране в достъпната електронно [DS].

съдържа първата качествена формулировка на съотношението за неопределеност, предложено по-късно през годината от Хайзенберг, [М], и се обсъжда ролята на причинността в квантова теория на полето (КТП). След хабилитацията, същата пролет, става частен доцент в Гьотинген. През лятото, той е в Копенхаген и съвместно с Клайн показва, че вторичното квантуване е естественият език за описание на система от (Бозе) тъждествени частици, с други думи, за задачата за много тела в нерелативистичната квантова механика. През януари 1928 Йордан и Вигнер завършват [JW]; по-късно през същата година, Йордан заема мястото на Паули като асистент на Ленц²⁶ в Хамбург, а през 1929 става извънреден професор в университета в Рощок.

Jürgen Ehlers (1929-2008), един от първите докторанти на Йордан в Хамбург, директор– основател на Института Алберт Айнщайн в Потсдам-Голм (1995), посвещава обзора [Е] за ролята на своя учител в изграждането на КТП на публикациите [ВН], [JK], [JP], [JW] от гьотингенския период. Богатството на по-малко известните работи на Йордан, започвайки от неговия хабилитационен труд [J27H], намерил по-нататъшно развитие в доклада в Харков, [J29], в които се разкрива ролята на микропричинността в КТП, се оценява едва в наши дни (виж енциклопедичната монография [MR] 6, II.5 и особено темпераментните статии на Шроер [Sch]). През 1935г. Йордан пише работа за калибровъчно инвариантно квантуване и за магнитния монопол на Дирак²⁷ (идея, която попада в обсега на „главния поток“ в теорията едва през 70-те години). Тя остава непрочетена (немските списания бързо губят своята репутация²⁸); нейният основен резултат е преоткрит (и облечен в езика на кохомологиите) едва през 2004. Към ростокския период се отнасят и публикацииите на Йордан (от 1935-37) по (предложената от де Бройл) неутринна теория на светлината. Тези работи съдържат идеята за *бозонизация* в 2-мерно пространство-време, идея, станала модна след 40 години в рамките на 2-мерната конформна теория на полето (виж [Sch] а): произведението на безмасово фермионно поле ψ с неговото спрегнато задава ток, който може да се представи като градиент на безразмерно (безмасово) скаларно поле ϕ ; обратно, зависимостта на ψ от точката x на пространство-времето се изразява чрез (експонента от) $\phi(x)$.

Йордан работи и по математичните основи на теорията. Той въвежда алгебра, носеща неговото име [JNW], призвана да описва произведението на наблюдаеми в квантовата механика.

Наблюдаемите се описват с ермитови оператори (за които $A=A^*$). Обикновеното

²⁶ Wilhelm Lenz (1888-1957) е създател на модела, носещ името на неговия ученик Изинг (1920); той прилага вектора на Рунге-Ленц в квантовата задача за водородния атом (1924). Като се пенсионира, 1956, Ленц предава своя Институт в Хамбург на Harry Lehmann (1924-1998), известен с работите си по квантова теория на полето.

²⁷ За историята на тази забележителна работа на Дирак, в която той предсказва и антима-терията, виж [F] глава 15.

²⁸ По думите на напусналия Германия Peter Bergmann, приведени от Шроер, „публикация в Zeitschrift für Physik след 1934г. е първокласно погребение“ (виж [Sch] а, където се обсъжда също преоткритието на Jackiv от 2004).

произведение – последователното прилагане – на некомутиращи ермитови оператори A и B не е ермитово, тъй като $(AB)^* = BA$. От друга страна, ако A и B описват наблюдаеми, то симетричната комбинация $A \cdot B = \frac{1}{2}(AB+BA)$ може да се разглежда като наблюдаема. Новото произведение е комутативно, но вместо условието за асоциативност удовлетворява само съотношението $A^2 \cdot (A \cdot B) = A \cdot (A^2 \cdot B)$ ($A^2 \equiv (A \cdot A)$). Алгебра, в която произведението удовлетворява това съотношение (наред с условието за комутативност $A \cdot B = B \cdot A$) се нарича *алгебра на Йордан*. Алгебри на Йордан са изучавани и класифицирани в чистата математика. Опитите за тяхно приложение във физиката досега не са се увенчали със забележителен успех.

Йордан се възхищава и не веднъж се вдъхновява от Дирак. Неговите оригинални идеи: нуждата от антикомутационни съотношения за реализиране на „статистика, подчинена на забраната на Паули“, ролята на локалността и на калибровъчната инвариантност (и конфликта между тях! – виж [Sch]) щастливо допълват направеното от (затворения до голяма степен в себе си) Дирак. Съвременната квантова електродинамика може да се разглежда като обединение на каноничните антикомутационни съотношения на Йордан-Вигнер с релативистичното уравнение на Дирак в теория на електронно-позитронното поле, която не се нуждае от безкрайно „море от запълнени състояния с отрицателна енергия“.

През 30-те години Йордан дава воля и на своя дълготраен интерес към биологията (вдъхнат още от детство от майка му). Той публикува достъпно изложение на своите възгледи за съвременната биология в книгата [J41]. Както и подобни по-ранни работи на Бор и по-късни изяви на Шрьодингер, тези негови трудове не получават признание у професионалните биолози. (Само че докато Бор и Шрьодингер се проявяват на биологичната арена след като са получили Нобелова награда, Йордан „се дискредитира“, без да я има.) Подобно на Роджър Пенроуз (друг оригинален физик и математик, чиито идеи за съзнанието не се приветстват от специалистите), той предполага, че в живата природа играят роля и квантови процеси. Неговият интерес през същия период към психологията се свързва с желанието му да разбере психологическите корени на своето заекване (и да се излекува!), но също не са чужди на интересите на Бор и на Паули.

3. Космология и политика

3.1. *Германският дух*. Икономическата криза, която се свързва в съзнанието на немците с тежките репарации, създава плодородна почва за политически екстремизъм. Ако за повечето негови колеги не са чужди националистичните настроения – като реакция на изпитанията, на които е подложена неукрепналата Ваймарска република, то Йордан отива по-далеч. Още от края на 20-те години „публикува (под псевдоним Domeier) елитистки възгледи в консервативното дясно списание *Германското наследство*“ [S99]. Повтаря приписвания на Хераклит възглед, че „войната е начинът да се създаде нещо ново в историята“. Смутен е от успеха на болшевишката революция и от комунистическата съблазън – особено по време на преживяваната криза. (На нея се е поддал дори наивният Дирак – под влиянието на Капица – [F].) Йордан смята (като

Лойд Джордж, последният британски министър-председател – либерал, виж [СММ]), че само национал-социалистическа Германия може да се противопостави на Съветска Русия. След идването на власт на Хитлер, 1933, той става член на национал-социалистическата „Германска работническа партия“ и дори на нейното полувоенно крило SA²⁹ („кафявите униформи“, които Хитлер разгромява през юни 1934). Според Шроер, [Sc], Йордан наивно се е надявал да убеди влиятелни хора от властта, че съвременната физика – физиката на Айнщайн и на копенхагенската школа, е най-доброто противодействие срещу болшевишкия материализъм. (Бернщайн, [B05], е по-малко разположен да търси оправдания.) Това отговаря на философските възгледи на Йордан, както личи от неговата книга [J] (от 1936), вдъхновена от немския учител по физика, философ и автор на книги Бернхард Бавинк (1879-1947). Йордан пише, че съвременната физика – за разлика от класическата – е анти-материалистична (както и анти-метафизична), а поражението на материализма „оставя повече свобода за религиозно мислене“ (виж [K]). Антисемитизмът, обзел властите, не им позволява да възприемат подобни идеи. Те се ползват от подкрепата на Йордан, но му нямат доверие – след като той продължава да сътрудничи с колеги евреи и да цени тяхната работа. Той прекарва около 16 години, 1928-1944, в относителна изолация в малкия университет в Росток³⁰. През войната работи като метеоролог (докато на безпартийния Хайзенберг е възложено ръководството на „урановия проект“). В същото време, безпокойство пред настъпващия комунизъм се чувства и от колеги на Йордан, напуснали Европа: Вигнер и фон Нойман, неговите (унгарско-еврейски) съавтори от 30-те години, споделят през целия си живот не по-малко силни антисъветски възгледи от него.

Тъй като по-късните коментари са разнoboйни, нека надникнем в [J41]: *Физиката и тайната на органичния живот*³¹, една от книгите на Йордан, писани преди 1945, адресирани към по-широка аудитория. Темата на четвъртия раздел, *Естествознание и светоглед*, ни позволява да разберем нещо за философията на автора и за влиянието на господстващата идеология върху неговите възгледи. За да имаме база за сравнение, добре е да си спомним епохата на „зрелия социализъм“. Едва ли може да се намери съветска книга на подобна тема от онова време, която да не почва и свършва с цитати от Ленин. Йордан, напротив, в последното есе, *Има ли криза в съвременните физически изследвания* (с. 169-183), защитава теорията на относителността на Айнщайн от нападите на философа-националист Theodor Haering (1884-1964) (възстановен в правата си на професор през 1951, две години преди Йордан!).

След 1945 Йордан е наказан за членството си в национал-социалистическата партия

²⁹ Sturm Abteilung (SA) в началото на 1934 наброява 4. 5 милиона, а „партията“ достига 8.5 милиона члена.

³⁰ След войната, като обсъждат кой да наследи Ленц в Хамбург, по време на прием в университета, Паули заявява: „Рихард Кун (Нобелист по химия) няма извинение, че е бил нацист, а Йордан има: той беше професор в Росток!“

³¹ Благодаря на Нъшан Ахабабян, който ми даде тази рядка книга, и на К.-Н. Rehren, който ми помогна с немския.

и за своята публична подкрепа на немската кауза по време на войната. В продължение на две години той е без каквато и да било работа. Борн отказва да свидетелствува в негова полза: той напомня (в писмо до Йордан) имената на свои роднини, убити от нацистите – [B05]. Паули и Хайзенберг го подкрепят, с което му позволяват да мине процеса на „денацификация“. Паули подмята, че „Йордан има джобен спектромер, който му позволява да отличи наситено кафяво от тъмно червено“, но добавя, че „няма да е правилно, ако Западна Германия игнорира човек като Йордан“ [Sc]. Даже след като е допуснат до Университета в Хамбург, той трябва да чака до 1953, за да бъде възстановявано правото му да ръководи докторанти. Йордан не следва съвета на Паули да спре да се занимава с политика (по-добре „да си мисли за пенсията“): по време на управлението на Аденауер, той е избран за депутат от християн-демократите (ХДП). Нещо повече, когато „18-те от Гьотинген“, водени от Борн и Хайзенберг, излизат с манифест против разполагането на ядрено оръжие на територията на Германия, Йордан ги обвинява публично, че те застрашават световния мир и стабилността в Европа. Борн е възмутен, но премълчава, докато жена му, Хедвиг, пише сърдито писмо на Йордан, след което публикува старите му политически статии под заглавие: „Паскуал Йордан, пропагандист на служба на ХДП“ (виж [Sc] и [S06]).

3.2. *Космологията*, от векове обект на философско-религиозни размисли и на мечти на поети/фантасти, получава правото да се изучава (и възприема) като наука едва след създаването на общата теория на относителността. По същото време и наблюдателната астрономия разкрива нови хоризонти: тя идентифицира и започва да изучава обекти извън нашата галактика.

Ако традиционно – от древността до модела на Айнщайн от 1917г. – вселената се възприема като статична и неизменна (от „сътворението“ или „откакто свят светува“), за новата наука тя е динамична, бурно променяща се и живее крайно време – има начало. Съмнение в традиционния възглед се появява още през 16-и век у Дигес, следван от Кеплер (1610), Халей (1715), де Шезо³² (1743) и Олберс³³ (1823); всеки от тях си дава сметка, че той се опровергава от тъмнината на нощното небе. Първите наблюдения, довели до откриването на червеното отместване, което свидетелствува за „разбягване“ на звезди и мъглявини, са направени около и малко след 1910г. от Vesto Slypher (1875-1969), работил през целия си дълъг живот в обсерваторията в Аризона (САЩ) и от Carl Wilhelm Wirtz (1876-1933) в Старсбург и в Германия. Първият (не успял) опит за обяснение на червеното отместване прави холандския математик и астроном Willem de Sitter (1872-1934). Неговото решение представлява всъщност статична вселена

³² Thomas Digges (1546-1595), английски математик и астроном, който допълва системата на Коперник с идеята за безкрайна вселена с безброй много звезди на различни разстояния от слънцето (земята); Johannes Kepler (1571-1630) и Edmund Halley (1656-1742); Jean-Philippe de Cheseaux (1718-1751), швейцарски астроном от Лозана; историята на загадката на тъмното небе е описана от E. Harrison (1919-2007), който допринася за нейното изясняване – виж [H].

³³ H.W.M. Olbers (1758-1840), син на пастор, лекар, превърнал горния етаж на дома си в Бремен в обсерватория.

без материя, но с положителна космологична константа, отговаряща на отблъскваща („антигравитираща“) *вакуумна* (или *тъмна*) *енергия*. (Тя е хомогенна и изотропна с постоянна положителна кривина; „разширява се“ само спрямо метриката на обемното 5-мерно пространство.) Първото нестационарно решение на уравнения на Айнщайн, съответстващо на разширяваща се вселена, намира през 1922г. Фридман³⁴. То (обрасло с имена на по-късни автори) е основата на днешния *стандартен космологичен модел* на вселената (Λ CDM³⁵), разглеждана като флуид (звезден прах) с независещи от мястото плътност ρ и налягане p , с глобално определена ос на времето и хомогенни и изотропни пространствени сечения. Четиримерният интервал приема вида $ds^2 = a(t)^2 d\Sigma^2 - dt^2$; $d\Sigma$ е, изобщо, елементарният интервал на хомогенно 3-мерно пространство с постоянна кривина; в стандартния модел това е $O(4)$ -инвариантната 3-мерна сфера. Растящият множител $a(t)$ се определя от уравнения на Айнщайн, които дават

$$3(\dot{a}^2 + k c^2) = a^2(8\pi G\rho + \Lambda c^2), \quad 3\ddot{a} = a(\Lambda c^2 - 4\pi G(\rho + 3p/c));$$

Тук k е скаларната кривина (обратно пропорционална на квадрата на радиуса на сферата), $\dot{a}$ и $\ddot{a}$ са първа и втора производни на $a(t)$ по времето, c е скоростта на светлината, G е гравитационната константа на Нютон. Първите космологични модели изпреварват времето си: вселената изглежда хомогенна само като се усредни по клетки с размери от порядъка на 10^9 светлинни години – многократно превишаващи размера на нашата галактика (Млечният път). Догадката на Вирц (1916-24), че наблюдаваните мъглявини са „извън галактични“, т.е. че има много галактики, се приема едва в началото на 1925г., когато Edwin Hubble (1889-1953) оповестява своите наблюдения на Андромеда. Льомер³⁶ съчетава данните на Вирц, Сливър и Хъбъл с решението на Фридман (което той намира независимо, [L27]) и така дава теоретично обяснение на червеното отместване. Това е изразено още от заглавието, *Хомогенна вселена с постоянна маса и растящ радиус, отчитаща радиалната скорост на извън-галактичните мъглявини*, на неговия труд (публикуван на френски в не особено разпространено белгийско списание – виж свежо написания обзор [L11]). Един от малкото, прочели работата, е Айнщайн, запознал се лично с Льомер при посещението си в Белгия за участие в Солвеевската конференция; неговият отзив не е ласкав: „Вашите пресмятания са коректни, но Вашата физика е ужасна“. Едва след като Хъбъл възпроизвежда, през 1929г., две години след Льомер, част от неговите резултати, а Едингтън³⁷ убеждава

³⁴ Александр Александрович Фридман (Санкт-Петербург, 1888 – Ленинград, 1925), завършва математика и работи по динамична метеорология. Айнщайн посреща неговите работи с недоверие – виж [Ф63] и [ТФЧ] с. 194-200.

³⁵ “Cold Dark Matter with a Λ -term” – студена тъмна материя с Λ (космологичен – въведен от Айнщайн, 1917) член.

³⁶ Monseigneur (Abbé) George Lemaître (1894-1966), белгийски математик, астрофизик и католически свещеник.

³⁷ Британският астрофизик Sir Arthur Eddington (1882-1944) въвежда Льомер в модерната космология през 1923 г. Той организира (1931) превод на неговата работа на английски, с трудно обясними пропуски – виж [NB] и [L11].

Айнщайн, че статичното решение, което той предлага, е нестабилно, някои водещи астрофизици почват да се отнасят сериозно към идеята за разширяваща се вселена. Още по-малко са онези, които са готови да приемат екстраполацията на Льомер назад във времето – до „първичния атом“ или до „яйцето“, от което се излюпва вселената (1931). Но с времето спекулациите на тази тема стават модни. Силна подкрепа на теорията на горещата вселена дава Гамов³⁸, ученик на Фридман, който през 1948 (съвместно със свои студенти във Вашингтон) създава теорията за нуклеосинтез на химичните елементи. През 1949 Хойл³⁹, рекламирайки своя конкурентна „теория на балансираното състояние“ (Steady State theory) по BBC, подигравателно подхвърля *this ‘big bang’ idea* (тази идея на „големия взрив“ – на Льомер) – термин, днес приет без ирония и изместил „яйцето“. Това, че мнозина до сега продължават да приписват на Хъбъл (който не вярва, че вселената се разширява!) откритията на Льомер, служи като илюстрация на „закона на Щиглер“: „Никое научно откритие не носи името на своя откривател“ [NB].

Йордан е сред (малкото) теоретици, които се увличат от идеите на Льомер и от теории на вселената, преди работата на Гамов от 1948 да ги направи популярни. Още през 1936 в (последната глава на) своята неколкратно преиздавана и превеждана книга [J] той пише вдъхновено (за началния взрив): „Не само атомите, звездите и Млечният път, но самото пространство и време са родени тогава“. Накрая, забравил своето позитивистко верую, се позовава на спекулации, че цялата вселена може да е само един Божи сън ([K]). Той получава допълнителен тласък от работата на Дирак⁴⁰, също разочарован от „зациклянето“ на квантовата теория на полето, който се обръща към тема от космологията. И двамата са повлияни от блестящия ексцентрик Едингтън, публикувал през 1935 книга, канеща читателите да „гледат на вселената като на симфония, свирена на 7 първични константи, както музиката – на седемте ноти от гамата“ [K]. Седемте константи на Едингтън са: елементарният заряд e , масите m и m_p на електрона и на протона, константата на Планк $\hbar$, скоростта на светлината c , Нютоновата гравитационна константа G и космологичната постоянна Λ . Той използва и „космичното число“: броят на протоните N във видимата вселена, който се оценява по средната плътност на материята на около 10^{78} . Още през 1919 Вайл⁴¹ въвежда друго голямо число: $e^2/Gmm_p \approx 10^{39}$ – отношението на електростатичната към гравитационната сили на привличане между електрона и протона. Дирак обръща внимание, че още една

³⁸ Георги Гамов (Одеса, 1904 – Болдър, Колорадо, 1968) руски и американски физик-теоретик и популяризатор.

³⁹ За английския астроном и автор фантаст Sir Fred Hoyle (1915-2001) – виж Четиво с продължение, *СФ* (2009).

⁴⁰ P. Dirac, The cosmological constants, *Nature* **139** (1937) 323 (две години след срещата си с Льомер в Принстън, 1935, и дни след завръщането си от медния месец след женитбата с Манси, „сестрата на Вигнер“ – [F] гл. 19 и 21).

⁴¹ Hermann Weyl (1885-1955), докторант на Хилберт в Гьотинген, универсалист, професор в Цюрих и Принстън.

величина, радиусът на видимата вселена, мерен в атомни единици за разстояние, e^2/mc^2 , е от същия порядък. В своето писмо в *Nature*, Дирак отбелязва, че тези огромни числа, са свързани помежду си с прости съотношения: броят на частиците във вселената е пропорционален (с коефициент близък до 1) на квадрата на нейния радиус, който от своя страна е приблизително равен на отношението на електростатичната към гравитационната сила между двете познати (единствени стабилни) атомни частици. За Дирак, това не е случайно: когато големите числа се променят, съотношенията между тях трябва да останат в сила във всеки момент. Но вселената се разширява, нейният радиус расте (съгласно Лъометр). Според така формулираната *хипотеза за големите числа*, трябва да расте и отношението на силите. Дирак заключава, че гравитационната константа намалява с времето (хипотеза, изказана малко преди това и от друг астрофизик с мистични наклонности, Милн⁴²). Повечето колеги на Дирак свиват рамене пред писмото му. (Едва го прочел, Бор го носи в кабинета на Гамов (в Копенхаген) с думите: „Виж какво става с човек, като се ожени.“ [F] гл. 21.) Йордан, напротив, е ентусиазиран от идеята и работи над нея с усърдие, каквото даже нейният автор не проявява. (Като се захване с нещо той, по думите на жена му, [S99], върви като танк – нищо не може да го спре. През 1952, 15 години след статията в *Nature*, Йордан пише в своя монография: „В тази идея на Дирак виждам велико прозрение на нашето време и смятам задачата за нейното по-нататъшно развитие за особено важна.“ [K]. Той приема, че масата на вселената M расте, докато гравитационната константа G намалява с нейния радиус R . Тогава пълната енергия на вселената $E=Mc^2-GM^2/R$ се запазва – и е равна на нула (идея, до която стига и австрийският физик Хаас⁴³ през 1936)! Много по-късно, Бонди (1919-2005) и Хойл (на Солвеевския конгрес, 1958) аргументират с този довод теорията на балансираното състояние.

Повечето приноси на Йордан се преоткриват и се превръщат в етап от развитието на нашите възгледи за вселената. Техният автор, като правило, е игнориран (или непознат) във Германия – виж [K]. В Хамбург (където той е гостуващ професор от 1947 и редовен професор от 1953 до пенсионирането си през 1971), Йордан създава силна школа по обща теория на относителността и нейните обобщения – виж [E09]. Тя включва неговите първи следвоенни докторанти, Е. Шюкинг (автор на колоритния и с топлота написан спомен за неговия учител [S99]), който завършва кариерата си като професор по физика в Нюйоркския университет, и Юрген Елерс, който основава Макс-Планковия институт в Голм (виж 2.3). В ръцете на хамбургската група, идеята за променлива гравитационна константа се превръща в популярната и до днес скаларно-тензорна гравитационна теория, приписвана на Бранс-Дике⁴⁴. Обикновено критичният

⁴² Последната книга на Edward Arthur Milne (1896-1950) е: *Modern Cosmology and the Christian Idea of God* (1952).

⁴³ Arthur E. Haas (1884 – 1941) строи (1910) модел на водородния атом с квантувани орбити, 3 години преди Бор.

⁴⁴ Robert Dicke (1916-97) и Carl Brans (р. 1935) публикуват своята статия през 1961, две години след Йордан.

Паули оценява положително замяната на гравитационната константа – единствената размерна константа на връзката в съвременната теория – с (променливо) поле. В писмо до Йордан от 1952г. (по повод на току-що излязлата му книга *Schwerkraft und Weltall – Гравитация и вселена*), той пише: „Идеята на Дирак за променлива G ми се струва естествена; убеден съм, че принципът на действието, от типа, който ти използваш, дава единствената разумна формулировка на тази идея. Не смея да съдя засега дали това съответствува на физическата реалност.“ (Като цитира това писмо, Шюкинг [S99] продължава: „Веднъж, когато Паули беше посетил Хамбург, Ленц го представи като каза, че Паули често е наричал нещо грешно, което се е оказвало вярно, но никога не е казвал за нещо наистина грешно, че е вярно.“)

Rien ne manque à sa gloire, il manquait à la nôtre.⁴⁵

3.3 Пропуснатата Нобелова награда

Шюкинг [S99] описва картинно първото си впечатление от 50-годишния Йордан, когато го посещава в дома му в Хамбург (малко преди да бъде възстановено официално правото на професора да ръководи докторанти след войната). Посреща го дружелюбно нисък набит мъж с очила. При разговора се опитва да прикрие със смях силното си заекване. Хайзенберг и Паули са го гледали малко от високо. „Г-н Йордан винаги е бил формалист“, казва снизходително Паули [S99]. „Формалист“ – или математик – е определение, което отблъсква и Нобеловия комитет: даже великият Поанкаре (е предлаган, но) не е удостоен с наградата.

Ако през „героичната епоха“ (1925-32) резултатите на Борн и Йордан не са оценени по заслуги, заради по-математичния им характер, то след идването на Хитлер на власт, за награда на Йордан не може да става и дума, поради неговата ангажираност с национал-социалистите⁴⁶. След войната, и Борн не може да получи, макар и закъсняло, признание за своите приноси към създаването на квантовата механика, защото те са резултат от съвместна работа с изключения от разглеждане Йордан. Борн дели наградата (през 1954) с експериментатора Боте (1891-1957); при това е спомената само неговата по-малко значителна, но самостоятелна работа, посветена на статистичната интерпретация на квантовата механика (виж детайлното обсъждане в [B05]).

След като сам станал нобелист, Вигнер номинира своя бивш колега и съавтор за 1979, но без резултат. През тази година Нобеловата награда делят Шелдън Глашоу, Абдус Салам (1926-1996) и Стивън Уайнбърг, по думите на Шюкинг [S99] „трима практиканти на изкуството, изобретено от Йордан“.

⁴⁵ „Нищо не липсва на неговата слава, той липсваше на нашата.“ (Надпис – закъсняло извинение, от Bernard-Joseph Saurin (1706-1781), под бюста на Молиер във Френската академия, в която Молиер не е бил избран приживе.)

⁴⁶ Подобен критерий като че ли не се прилага към членове на не по-малко компрометираните властвували комунистически партии (виж по този повод <http://motls.blogspot.com/2008/10/pascual-jordan-birthday.html>).

Литература

- [B05] J. Bernstein, Max Born and the quantum theory, *Am. J. Phys.* **73**:11 (2005) 999-1008.
- [BHJ] M. Born, W. Heisenberg, P. Jordan, Zur Quantenmechanik, II. *Zeits. Phys.* **35** (1926) 557-615.
- [CMM] D. Castillo, C. Magaña, S. Molina, The 1920's, <http://www.history.ucsb.edu/faculty/marcuse/classes/33d/projects/1920s/>.
- [D86] O. Darigol, The origin of quantized matter waves, *Hist. Stud. Phys. Sci.* **16**/2 (1986) 189-253.
- [D27] P.A.M. Dirac, The quantum theory of emission and absorption of radiation, *Proc. Roy. Soc. London A* **114** (1927) 243-265.
- [D30] P.A.M. Dirac, *The Principles of Quantum Mechanics*, Clarendon Press, Oxford (1st ed.) 1930.
- [D] P.A.M. Dirac, Recollections of an exciting era, in: Charles Weimer, ed., *History of Twentieth Century Physics*, International School of Physics "Enrico Fermi", course **57**, NY 1977, pp. 109-146; руски превод: Воспоминания о необычайной эпохе, *Успехи Физ. Наук* **153**:1 (1987) 105-134.
- [DS] I. Duck, E.C.G. Sudarshan, Towards an understanding of the spin-statistics theorem, *Am. J. Phys.* **66**:4 (1998) 284-303.
- [E] J. Ehlers, Pascual Jordan's role in the creation of quantum field theory, in [PJ] 23-35.
- [E09] George Ellis, Editorial note to: Pascual Jordan, Jürgen Ehlers and Wolfgang Kundt, Exact solutions of the field equations of the general theory of relativity, Golden Oldie Editorial, *Gen. Relat. Gravit.* **41** (2009) 2179-2189.
- [F] Graham Farmelo, *The Strangest Man: The Hidden Life of Paul Dirac, Quantum Genius*, Faber and Faber, London 2009; *Mystic of the Atom*, Basic Books, New York 2009; виж превод на избрани откъси в Четиво с продължение, *Светът на физиката* **34** (2011).
- [F32] V.A. Fock, Konfigurationsraum und zweite Quantellung, *Zeits. Phys.* **75** (1932) 284-303; English translation: Configuration space and second quantization, in V.A. Fock, *Selected Works: Quantum Mechanics and Quantum Field Theory*, Edited by L.D. Faddeev, L.A. Khalfin, I.V. Komarov, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, New York, London, Washington, D.C. 2004, pp. 191-220.
- [Ф63] В.А. Фок, Работы А.А. Фридмана по теории тяготения Эйнштейна, *Успехи физических наук* **80**:3 (1963) 353-356.
- [H] Edward Harrison, *Darkness at Night: A Riddle of the Universe*, Harvard University Press, 1987.
- [J27] P. Jordan, Über Wellen und Korpuskeln in der Quantenmechanik, *Zeits. Phys.* **45** (1927) 765-775.
- [J27H] P. Jordan, Kausalität und Statistik in der modernen Physik, *Naturwissenschaften* **15** (1927) 105-110 (Habilitationsschrift); English translation (by R. Oppenheimer): Philosophical foundations of quantum theory, *Nature* **119** (1927) 566-569, 779.
- [J29] P. Jordan, Der gegenwärtiger Stand der Quantenelektrodynamik, *Phys. Zeitschr.* **30** (1929) 700-712 (presented at the conference on theoretical physics in Kharkov, May 1929).
- [J] P. Jordan, *Die Physik des 20. Jahrhunderts*, Vieweg, Braunschweig 1936; English transl.: *Physics of the 20th Century*, Philosophical Library, New York 1944.

- [J41] P. Jordan, *Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens*, Vieweg, Braunschweig 1941.
- [JNW] P. Jordan, J. v. Neumann, E.P. Wigner, On an algebraic generalization of the quantum mechanical formalism, *Ann. of Mathematics* **35**:1 (1934) 29-64.
- [JP] P. Jordan, W. Pauli, Zur Elektrodynamik ladungsfreier Felder, *Zeits. Phys.* **47** (1928) 151-173.
- [JW] P. Jordan, E.P. Wigner, Über Paulische Äquivalenzverbot, *Zeits. Phys.* **47** (1928) 631-635.
- [K] Helge Kragh, From quantum theory to cosmology: Pascual Jordan and the world physics, in [PJ] 133-143.
- [L27] Abbé G. Lemaître, Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques, *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles* **47** (1927) 49-59 (censored English translation in: *MNRAS* **91** (1931) 483L).
- [L11] J.-P. Luminet, Editorial note to "The beginning of the world from the point of view of quantum theory", arXiv:1105.6271 [physics.hist-ph], *Gen. Rel. Grav.* (2011).
- [ML] S. Mac Lane, Mathematics at Göttingen under the Nazis, *Notices AMS* **42**:10 (1995) 1134-1138.
- [M] Karl Von Meyenn, "Jordan, Ernst Pascual." *Complete Dictionary of Scientific Biography*. 2008. *Encyclopedia.com*. (July 15, 2011). <http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-2830905174.html> (Paper edition: Frederic L. Holmes, ed., *Dictionary of Scientific Biography*, vol.17, Charles Scribner's Sons, New York 1990, pp. 448-454 – quoted in [K]).
- [MR] J. Mehra, H. Rechenberg, *The Historical Development of Quantum Theory*, Vol. **3**: *The Formulation of Quantum Mechanics and Its Modifications 1925-1926*, Springer, New York 1982; **6**: *The Completion of Quantum Mechanics 1926-1941*, Springer, N.Y. (Part 1, 2000, Part 2, 2001) 1612 p.
- [NB] H. Nussbaumer, L. Bieri, *Discovering the expanding universe*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK 2009; Who discovered the expanding universe? arXiv:1107.2281 [physics.hist-ph].
- [P] Abraham Pais, 'Subtle is the Lord...' The Science and the Life of Albert Einstein, Clarendon Press, Oxford 1982 (552 pp.); български превод: „Изкусен е Всевишният...“, Унив. изд. „Св. Климент Охридски“, София 2004 (640 с.).
- [P86] A. Pais, Inward Bounds of Matter and Forces in the Physical World, Clarendon Press, Oxford 1986 (666 pp.).
- [PJ] *Pascual Jordan (1902-1980)*, Mainzer Symposium zum 100. Geburtstag, D. Hoffmann, J. Ehlers, J. Renn, eds. Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte; <http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/Preprints/P329.PDF>.
- [Sc] Bert Schroer, Pascual Jordan: biographical notes, his contributions to quantum mechanics, and his role as protagonist of quantum field theory, in [PJ] 47-68; see also hep-th/0303241v2 (37 pp.).
- [S06] Bert Schroer, *Physicists in times of war*, physics/0603095.
- [Sch] Bert Schroer, (a) Pascual Jordan's legacy and the ongoing research in quantum field theory, *Eur. Phys. J.H.* **35** (2011) 377-433, arXiv:1010.4431v3 [physics.hist-ph] (72 pp.); (b) The holistic structure of causal quantum theory, its implementation in the Einstein-Jordan conundrum and its violation in more recent particle theories, arXiv:1107.1374v3 [math-ph] (41 pp.).
- [S99] E.L. Schucking, Jordan, Pauli, politics, Brecht, and a variable gravitational constant, *Physics Today* **52**:10 (1999) 26-31; full version in: *On Einstein's Path*, ed. A. Harvey, Springer, 1999, pp. 1-14.

[S] Silvan S. Schweber, *QED and the men who made it: Dyson, Feynman, Schwinger and Tomonaga*, Princeton Univ. Press, 1994 (Sect. 1.2).

[SQM] *Sources in Quantum Mechanics*, edited with a historical introduction by B.L. Van der Waerden, Dover, 1967. See: W. Heisenberg, Quantum-theoretical re-interpretation of kinematic and mechanical relations, pp. 261-276 (German original: *Z. Phys.* **33** (1925) 31-46); M. Born, P. Jordan, On quantum mechanics, pp. 277-306 (*Z. Phys.* **34** (1925) 124-154); P.A.M. Dirac, The fundamental equations of quantum mechanics, pp. 307-320 (*Proc. Roy. Soc.* **A109** (1925) 642-653); M. Born, W. Heisenberg, P. Jordan, On Quantum mechanics II, pp. 321-385 ([BHJ]); W. Pauli, On the hydrogen spectrum from the standpoint of the new quantum mechanics, pp. 387-415 (*Z. Phys.* **36** (1926) 184-203).

[ТФЧ] Э.А. Тропп, В.Я. Френкель, А.Д. Чернин, Александр Александрович Фридман *Жизнь и деятельность*, Наука, Москва 1988, 304 с.



Макс Борн



Конференция по физика в Института на Бор през 1936 г.
В предната редица (от ляво на дясно) са Волфганг Паули, Паскуал Йордан, Вернер Хайзенберг, Макс Борн, Лизе Майтнер и Ото Щерн. Нилс Бор стои зад Паули.

Посетете нашия сайт
WOR.COINTECH.NET

На него можете да откриете всички списания на
СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА от 1991 г. досега

Тази година се навършват 40 години от основаването на семинара по Теоретична и математична физика (започнал като семинар по Квантова теория на полето). По-известен с фамилиарното „Семинарът на акад. Иван Тодоров“, той провежда заседанията си всеки четвъртък в 13:15 в зала 300 на Института по ядрени изследвания и ядрена енергетика. Без значими прекъсвания, неподвластен на социални сътресения, политически ветрове и административни промени.

На 4 август тази година, на редовна сбирка, титулярът на семинара изнесе доклад на тема „Как беше открито разширението на вселената“ (обзор на неотдавнашни препринти). На последвалата интересна дискусия, с участието на колеги от редица физически институти на БАН и на Физическия факултет на Университета, спонтанно бе решено този кръг въпроси да намерят място на страниците на съюзното списание. Предлаганият превод отразява в най-концентриран вид фактите около възникването на космологията като физическата дисциплина. Читател, не специалист в областта, обаче би постъпил разумно, ако се запознае с редица други източници, преди да изгради собствено мнение за основните участници в този важен за човешкия мироглед научен етап.

Бел. ред.

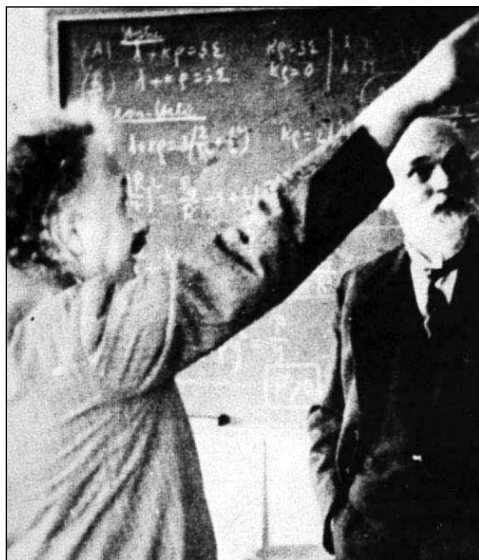
КОЙ ОТКРИ РАЗШИРЯВАЩАТА СЕ ВСЕЛЕНА?

Хари Нусбаумър и Лидия Биери

Има ли значение кой наистина е открил разширението на Вселената? Великите открития така или иначе никога не са работа на един човек. Това е правилното разбиране по този въпрос. Обаче тези, които се интересуват от еволюцията на нашата научна култура, имат желание да разберат интригуващите перипетии, довели до новите идеи. И тъй като разширението на Вселената е едно от най-важните открития в историята на науката, не е учудващо, че въпросът как то се е случило все още широко се обсъжда.

Дебатът по тази тема припламна отново, породен от статия в отдела „Мнения“ на списанието *Nature*, където Юджин Рейч насочи вниманието на читателите към две статии от Сидни ван дер Берг (2011) и Дайвид Блок (2011). Тези статии реанимираха дискусията дали Хъбъл или Лъометр е открил разширяващата се Вселена и дали откритието е било просто един почти предсказуем резултат от нормалните научни търсения по това време. Ние проучихме този въпрос и го представихме в нашата книга *Откриването на разширяващата се Вселена* [7], където, използвайки известните оригиналните документи, възстановихме етапите, довели до откритието.

Случилото се е пример за два различни пътя към научния прогрес. Версията за Хъбъл е, че това е едно случайно откритие, докато версията за Лъометр е история на едно съзнателното търсене на решение от един учен на дълго съществуващ проблем. Привличайки вниманието към този аспект в настоящата статия, ние също искаме да резюмираме основните факти за тези, които са прекалено заети със собствените си



Дискусия между Алберт Айнщайн и Вилиям де Ситер

изследвания за да прочетат цялата ни книга [7]. Книгата съдържа и подробна библиографска справка.

Не трябва да забравяме, че през цялото време нито Льомер нито Хъбъл са работили в изолация и че едно откритие се подхранва и от преки и косвени приноси на други изследователи. В конкретния случай откритието един вид се влага в множество от нови резултати отнасящи се до Общата теория на относителността, в търсенето на адекватна интерпретация на енигматичните големи червени отмествания на мъглявините¹, и в предизвикателството да се измерят разстоянията до извънгактическите обекти.

Фактите са както следва:

1. През 1917 г. Айнщайн, на основата на своите фундаментални уравнения на общата теория на относителността, създава статичен

модел на Вселената. Повече от две хиляди години астрономически наблюдения са показвали, че Вселената е устойчива и практически неизменна, както в пространството така и във времето. Поради това, Айнщайн много естествено е търсил решения отговарящи на един статичен свят. За да постигне целта си, той въвежда космологичната константа Λ^2 .

2. През 1917 г., няколко месеца след Айнщайн, Де Ситер намира още едно решение, което изглежда, че съдържа обяснение на червените отмествания на мъглявините, по това време вече добре известни от започналите през 1912 год. наблюдения на Весто Слайфър в обсерваторията Лоул, Флагстаф, Аризона. Вселената на Де Ситер също съдържа космологичната константа, но никаква материя.

3. През 1922 г. Фридман установява, че уравненията на Айнщайн позволяват динамична Вселена. Той не свързва своя резултат с астрономически наблюдения и не отбелязва недостатъка в модела на Де Ситер. Освен Айнщайн, които не считал³, че динамичните решения са физически релевантни, никой не обръща внимание на резултатите на Фридман.

¹ Тогава все още са ги наричали „мъглявини“, а не галактики, защото не са били сигурни в извънгактичната им природа – бел. ред.

² По широко известното му собствено признание – неговата „най-голяма грешка“. Тази „грешка“ в съвременната космология придоби нов живот с откриването на тъмната енергия – бел. ред.

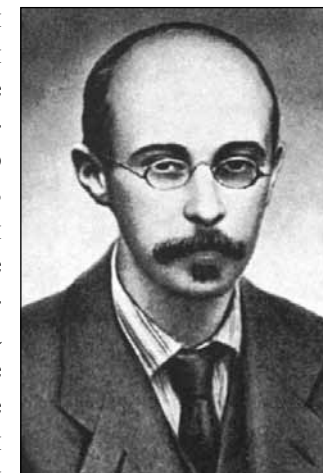
³ Първоначално.

4. Има и други теоретици, които през 1920-те години получават решения на уравненията на Айнщайн, описващи динамични вселени. Но никой от тях не свързва своите резултати с наблюденията, нито утвърждава, че Вселената се разширява. Ланцош през 1922 г. извежда формално решение водещо до пространствено затворена Вселена. В същата статия той коментира публикации на Херман Вайл от 1918 и 1919 години, в които Вайл се спира на червените отмествания в модела на Де Ситер. Тези статии констатира обръкването породено от модела на празната вселена на Де Ситер. И тъй като тогава математичните методи не са били развити както в днешно време, интерпретациите често поемат по сложни пътища. Важен принос прави Вайл с въвеждането на концепцията за „причинно свързан свят“. Поучително е също да се проследи кореспонденцията Айнщайн-Вайл относно космологичната константа, осъществена чрез пощенски картички. Допълнителни подробности, отнасящи се за тази тема, може да се намерят в нашата книга [7].

5. В началото на двадесетте години не само теоретици, а и астрономи се опитват да намерят факти, подкрепящи вселената на Де Ситер и да определят радиуса на кривината ѝ. В допълнение, научното общество все още дебатира дали мъглявините са извънгактически обекти или не. В процеса на тези изследвания Карл Вуртц открива в 1924г. зависимост между видимия фотографски диаметър и радиалните скорости на спиралните мъглявини. През същата година Кнут Лундмарк публикува в Monthly Notices първата диаграма разстояние-скорост, като разстоянията се изразяват в единици на разстоянието до мъглявината Андромеда. В дискусиата относно характера на спиралните мъглявини Опик, използвайки един интересен метод, още през 1922 г. определя разстоянието до Андромеда на 450 крс, много по-близо до реалната стойност, отколкото намереното по-късно от Хъбъл разстояние от 285 крс. Но именно работата на Хъбъл, представена на 1 януари 1925 г. на срещата на Американското астрономическо дружество, е тази, която „разчиства небето“ за извънгактическите мъглявини (наричани сега галактики), като градивни елементи на Вселената: хипотезата на Кант и Лаплас за съществуването на островни вселени бива приета за реалност. За повече подробности вижте нашата книга [7].

6. През 1927 г. Льомер [4] критикува Де Ситер за това, което е като смъртен грях за всички вярващи в Коперниковата хипотеза: моделът на де Ситер е нарушил принципа на хомогенност, третирайки наблюдателя по преференциален начин⁴. След това Льомер намира множество от динамични решения на основните уравнения на Айнщайн.

⁴ В този случай, Льомер, изправен пред избора да се придържа или към наблюдаваните факти или към догмата на организираната религия, в йерархията на която той е имал дори пост, постъпва като истински учен. (Бел. прев.)



Александър Фридман



Абат Жорж Льометр

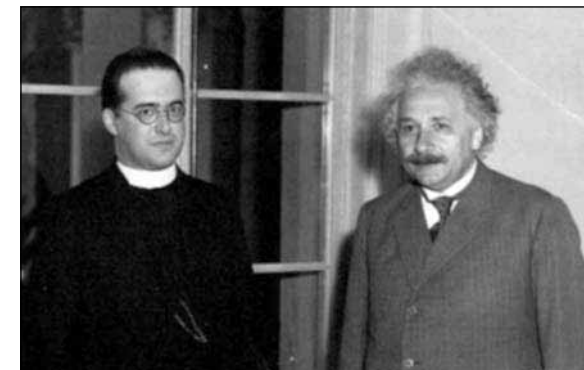
От теорията на относителността той извежда, че зависимостта скорост-разстояние е линейна, $v=H \cdot l$ (наричана сега закон на Хъбъл). Льометр след това сравнява своето решение с наблюденията. За да пресметне числената на стойност на H , Льометр използва определените от Хъбъл през 1926 г. разстояния до извънгактическите мъглявини, а стойностите на червените отмествания от наблюденията на Слайфър. В зависимост от избора на конкретни данни, той получава 625 или 575 (км/сек)/Мpc (за сравнение Хъбъл в 1929 г. получава 500 (км/сек)/Мpc). Той е доволен, че наблюденията не са в противоречие с неговите теоретични заключения: Вселената се разширява. Той обаче добре осъзнава, че в тогавашните данни има огромни вариации и че бъдещите наблюдения ще трябва да потвърдят линейната зависимост с необходимата статистическа достоверност.

Льометр е бил напълно наясно за значението на откритието си. Това прави още по-учудващ факта, че той не се опитал да го пласира в някое от престижните астрономически списания, а публикува статията си на френски език в *Annales de la Societe Scientifique de Bruxelles*.

7. През 1929 г. Хъбъл [2] се заема с изучаването на движението на Слънцето на фона на извънгактическите мъглявини, при което той табулира, както и други са го правили преди него, разстоянията и скоростите на извънгактическите мъглявини: $\cos \alpha \cos \delta + Y \sin \alpha \cos \delta + Z \sin \delta^5$.

В процеса на това изследване с помощта на своите уточнени разстояния той установява, че „Данните в таблицата насочват към линейна корелация между разстояния и скорости в съответствие с по-старите решения, независимо дали последните се използват пряко или след корекция, отчитащи движението на Слънцето”. След като осъзнава този факт, той оставя настрана слънчевия проблем и се концентрира върху линейната зависимост. В зависимост от това как групира галактиките, той получава $K=473$, 513 или 530 (км/сек)/Мpc, но избира $K=500$ (км/сек)/Мpc като предпочетена от него стойност. При пресмятането на числената стойност на K , Хъбъл работи със собствените си разстояния. За стойностите на червените отмествания той взема главно тези на Слайфър, както са табулирани в книгата на Едингтън от 1923 г., *Математическа теория на относителността* (второ издание от 1924 г.), без обаче да ги цитира. Нито тук, нито във влиятелната си монография ‘*The Realm of the Nebulae*’, публикувана през 1936г., Хъбъл не споменава

⁵ Последните три члена отчитат движението на слънцето. В този израз r е разстоянието до галактиката, а K е „константата” на Хъбъл. — бел. прев.



Льометр и Айнщайн

по никакъв начин Льометр⁶. Хъбъл, въздържайки се от тълкуване на наблюденията си, заключава – „Изключително важна обаче е възможността зависимостта скорост-разстояние да представлява ефекта на Де Ситер и следователно данните да могат да бъдат използвани за определяне на кривината на пространството”. В едно по-късно писмо до Де Ситер, Хъбъл пише, че той би оставил интерпретациите на неговите наблюдения на тези

„компетентни да дискутират нещата авторитетно”. На никоя от седемте страници на статията на Хъбъл няма и една дума за разширяващата се Вселена, всъщност Хъбъл никога не е вярвал в такова нещо.⁷ Наблюденията на Хъбъл потвърждават предсказанията на Льометр. В нашата книга ние също разказваме как те отново припалват космологичния дебат, което е илюстрирано от ключовото значение на дискусията Де Ситер-Едингтън състояла се в петък, 10 януари 1930 г. [8].

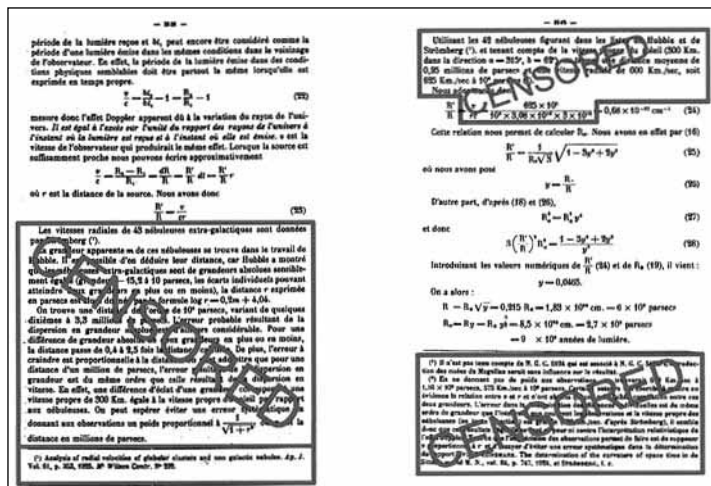
8. Статията на Льометр от 1927 г. излиза на френски в *Annales de la Societe Scientifique de Bruxelles*. През 1931 г. тя е преведена на английски в *Monthly Notices* [5]. В преведената статия обаче е направен исторически важен пропуск. Изводът на Льометр на числената стойност на H не е включен умишлено.⁸ Защо това е било направено и кой носи отговорността представлява неразкрита загадка и до днес. Но като последствие хората, които са чели само английската версия, остават с впечатление, че Хъбъл първи пресмята H .

9. Понякога се твърди, че математическото предсказание на разширяващата се Вселена се дължи на Робъртсън. Това е едно погрешно схващане, което ние също обсъждаме в нашата книга. В 1928 г. Робертсън изпраща в *Philosophical Magazine* статия, в която иска да замени метричния елемент на Де Ситер с „математически еквивалентно решение, в което много от очевидно присъстващите парадокси (в решението на Де Ситер) са елиминирани”. Той също достига до формула подобна на съотношението разстояние-скорост

⁶ Както пишат авторите в [7], „Дали той не се е боял, че от короната му ще изпадне важен скъпоценен камък, ако хората разберат за пионерското сливане на теория и наблюдения, направено от Льометр две години преди Хъбъл да публикува всъщност неговото потвърждение?” – бел. ред.

⁷ Както безкомпромисно пишат M.J. Way and H. Nussbaumer във *Phys. Today* 64 N8: 8, 2011, „Има голяма ирония в тези лъжи, които още се популяризират днес. Самият Хъбъл никога не достига до признаване на разширяването на Вселената – напротив, той се е съмнявал в това до края на дните си. Именно Льометр е първият, който съчетава теоретични и наблюдателни аргументи, за да покаже, че живеем в разширяваща се Вселена” – бел. ред.

⁸ Виж снимка на изключените пасажии в превода на статията на Льометр, бел. ред.



Цензурираната статия



Едуин Хъбъл с характерната за него лула

появяваща се в анализа на Лъометр. Разликата е в това, че той е използвал $v = c(l/R)$, където l е разстоянието до мъглявината, а R е радиусът на кривината на Вселената, който той е търсил в рамките на едно статично решение.

Робъртсън след това разглежда практически същите наблюдателни данни, които една година по-рано е взел Лъометр и които ще бъдат разгледани от Хъбъл една година по-късно. От това той изчислява за радиуса на Вселената, $R=2.0 \times 10^{27}$ cm. Неговото c/R съответства на $H=463$ (км/сек)/Мpc, но тази стойност не фигурира в неговата статия. Робъртсън поставя важен жалон в разбирането на космологичните решения на уравненията на Айнщайн. В общия случай, решения на уравненията на Айнщайн не се подчиняват на специални симетрии. Въпреки това, за да се опише голямо-мощабната структурата на пространствено хомогенна Вселена, четиримерното пространство-време обикновено се разделя на пространствена и времева компоненти. Нещо повече, за да бъде „третирана всяка точка в този свят по еднакъв начин“ – съдържанието на принципа на Коперник – и за да отчитат наблюдаваните факти в нашите модели, е необходима хипотезата за универсалната хомогенност и изотропност. Всички тези предпоставки налагат симетрии в решенията на уравненията на Айнщайн. Робъртсън е първият, търсил математически и в детайли всички вселени, които удовлетворяват тези физически условия.

10. От време на време се твърди, че именно Хъбъл е убедил Айнщайн в реалността на разширението. Това е много малко вероятно. Въпреки че не съществува писмен документ кога Айнщайн е бил „преобърнат“, много е вероятно това да се е случило, когато Едингтън му показва, че неговото статично решение е неустойчиво. Ние обсъждаме допълващи обстоятелства около това събитие в нашата книга.

11. Нито Хъбъл, нито Лъометр се оставят на лаврите си. С помощта на най-мощните телескопи

на планината Маунт Уилсън, Хъбъл и Хюмасън пристъпват към систематични измервания на червените отмествания на мъглявините. Техни данни, по-късно потвърдени от Сендидж, ще се превърнат в един от жалоните на наблюдателната космология.⁹ Лъометр има друг принос с голямо въздействие, когато през 1931 г., в едно писмо с размер на една колонка в Nature, предлага това, което сега се нарича „Големия взрив“. През 1933 г. в доклад, представен пред Американската Национална академия на науките, Лъометр посочва енергията на вакуума като възможния дълбок механизъм за наличието на космологичната константа Λ . Тези развития са описани в подробности също от Жан-Пиер Люмине [6].

12. Ако Хъбъл не е откривателят на разширяващата се вселена, защо той все още често е почитан като такъв. Крей и Смит [3] проследяват еволюцията на „мита Хъбъл“. Те намират, че преди 1950-те терминът „Закон на Хъбъл“ и представата за „Хъбъл като астрономът, който е открил разширяването на Вселената“, не са общоприети в научната литература. Именно през 50-те ролята на Хъбъл постепенно се издига за сметка на всички останали.¹⁰ Те заключават:

етикета „Закон на Хъбъл“ е пример на това, което се нарича закон на Щиглер за епониимията, а именно, „Няма научно откритие, наречено на първоначалния му откривател“.

Откриването на разширяващата се Вселена е еталонен пример на учен, който е наясно с парлив научен проблем и който целенасочено го решава. Това не се случило обаче във вакуум. Лъометр се възползва от прозренията на Едингтън в разбирането за следствията от общата теория на относителността. В своята статия от 1927 г. той цитира също Ланцош и Вайл, а и е стоял, разбира се, върху раменете на Айнщайн и Де Ситер.

⁹ Всъщност те са окончателно потвърдени в обширната работа на Хюмасон, Мейал и Съндидж „Redshifts and magnitudes of extragalactic nebulae“, публикувана в Astronomical Journal през 1956 г. и съдържаща червени отмествания за над 800 „извънгактични мъглявини“. Наблюденията са отнели на авторите около 20 години. Получената от тях стойност на H_0 е $180 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. Съвременната най-надеждна стойност на константата, макар и моделно зависима, е $H_0 = 71.0 \pm 2.5 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ – бел. ред..

¹⁰ Вижте посочената работа на Хюмасон, Мейал и Съндидж от 1956 г., която изиграва основна роля по въпроса – бел.ред.



Стоинчовият (2.5 метра) телескоп Хукър, на планината Маунт Уилсън използван за наблюденията на мъглявините от Хъбъл и Хюмансон

Подобни аргументи биха могли да бъдат приведени и когато се обсъждат и достиженията на Нютон и Айнщайн. Ако искаме да приложим обичайните стандарти за „присъждане“ на научни открития, ще трябва да се съобразим със ситуацията, възникнала през 1927 г. Статичната Вселена на Айнщайн не би могла да обясни червените отмествания на Слайфър; теорията на Де Ситер включва червените отмествания, но е непълна. Лъометр забелязва проблема в работата на Де Ситер – една от големите фигури на астрономията през първата половина на XX век. Преди Лъометр само Фридман е бил дотолкова безразсъден, че сериозно да приеме възможността Вселената да е наистина динамична. През 1927 г., Лъометр получава от фундаменталните уравнения на Айнщайн решение, съответстващо на динамична вселена. За да свърже резултатите си с наблюденията, той разглежда следствията, които неговият модел налага върху спектрите на отдалечените източници на лъчение. Този анализ му дава зависимост скорост-разстояние, която е линейна, $v=H \cdot l$, като червените отмествания са индикатор на разширяваща се, а сините – на свиваща се вселена. След това той взима измерените вече червени отмествания и разстояния и изчислява липсващия коефициент на пропорционалност H . Последният не следва от теорията. Наблюдателните факти го водят до заключението, че живеем в разширяваща се вселена. Това е едно от най-впечатляващите открития, правени някога.

Историята в нейната пълнота е много по-колоритна, отколкото може да бъде резюмирано на няколко страници. Списъкът от използваната литература по-долу е непълен; много по-разширен такъв фигурира в нашата книга.

Литература

- [1] D. Block, arxiv.org/abs/1106.3928(2011).
- [2] E.Hubble, A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae, PNAS, 15, 168-173.(1929).
- [3] H.Kragh and R.W. Smith, Who discovered the expanding universe?, History of Science, Vol. 41, 141-162.(2003).
- [4] G.Lemaître. Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques, Annales de la Société scientifique de Bruxelles, Série A, 47, 49-59.(1927).
- [5] G.Lemaître. A homogeneous universe of constant mass and increasing radius accounting for the radial velocity of extra-galactic nebulae, MNRAS, 91, 483-490. (1931a)
- [6] J.-P.Luminet. arxiv.org/abs/1105.6271v1(2011).
- [7] H.Nussbaumer and L.Bieri. Discovering the Expanding Universe, Cambridge University Press, Cambridge, UK.(2009). ISBN 978-0-521-51484-2.
- [8] Proceeding of the R.A.S., The Observatory, Vol. 53, 37-39.(1930).
- [9] S. Van den Bergh. arxiv.org/abs/1106.1195(2011).

Who discovered the expanding universe? Harry Nussbaumer and Lydia Bieri
Превод от английски: **О. Йорданов**

Представяме ви (част от) статията на известния руски специалист по научна и социална политика проф. С.Г.Кара-Мурза. Въпреки че се отнася за Русия и е написана преди близо десетина години, смятаме, че проблемите, засегнати в нея, са актуални и днес в България, независимо от това, че у нас куцо и сакато се е втурнало да прави реформи, а останала част се е окопала в кръгова отбрана на статуквото... Н.А.

СОЦИАЛНИТЕ ФУНКЦИИ НА НАУКАТА В УСЛОВИЯ НА КРИЗА

С. Г. Кара-Мурза

В настоящето трудна социално-икономическа ситуация политиките трескаво търсят от какво може да се спести. Погледът, който хвърлят на коя и да е сфера на дейност, съдържа въпроса: за кого е нужна тя? Не може ли нещо да се ореже или въобще да се изхвърли? Със съмнение поглеждат към науката – не е ли разкош днес? Каква е нейната необходимост в точно момент на криза? Учените въобще не ги питат, но те трябва да отговорят на тези въпроси, поне помежду си. Трябва веднага да посоча, че обстановката за разумен и спокоен разговор за науката днес съвсем не е благоприятна.

Нивото на разбиране на “анатомия и физиология” на науката и нейната роля рязко падна в сравнение с 1980-те години, когато върхушката на партийната и държавна номенклатура се отмести към страната на антиинтелектуализма. Но все пак можеше да се чуят изрази от рода на “няма нищо по-добро от добрата теория” и други подобни. Днес, в условията на общото влечение към прости решения (което е нещо обикновено по време на кризи), в по-голямата част от случаите под наука се разбира *технология* – приложението на научното знание във вид на нови продукти или технологични процеси.

Това е подмяна на предмета на разговора. От една страна това е стесняване на проблема (технологията е само част от цялостната научно-техническа система на страната). От друга страна това е изнасяне на проблема в сфера, лежаща основно извън науката. Превръщането на знанието в технология и неговото усвояване от производството са процеси, обусловени от общата икономическа ситуация. Липсата на платежоспособно търсене на технологии при пазарните отношения е фундаментален фактор, който не може да бъде компенсиран от хитроумни решения в рамките на научната политика. Когато тя действа, възможни са само “точни” решения за създаване на неголеми анклавни социални практики (производства и пр.) с прилагане на високи технологии, при това – родно производство. С това трябва да се занимаваме, но това е само неголяма част от проблема.

Главната грешка при оценката на полезността от науката, особено в период на криза (макар, че и в нестабилни периоди също, но тогава грешките не са толкова опасни), са

породени, не от липсата на добри методики за “измерване”, а причините са структурни – това, че от полето на зрение изпасат много от най-важните функции на науката, които просто не се забелязват, когато науката функционира нормално. Ние обикновено не мислим за щасттието че дишаме, а удавниците вече не могат да ни го обяснат.

Онези, които се съблазняват от идеята “временно, до по-добри времена” да отпишат науката от захранване, изхождайки от разумния постулат: научното знание не познава граници и в нашия глобализиран свят много от плодовете на науката могат да бъдат ползвани, без да имаме национална наука. От това приемливо твърдение неявно се преминава към подмяната, че отвън може да се получат *всички* необходими плодове на науката. Много, но не всички. И точно сред онези “продукти на науката”, които е невъзможно да се купят или “заимстват” от чужбина, са най-необходимите за самото съществуване на страната като социални, културни или икономически ценности. Разбира се, и много от плодовете на науката, които могат да се купят от чужбина, могат да се получат много по-евтино от собствените учени. Но за по-просто, ще поставим въпроса рязко и ще говорим само за това, което не може да се купи с пари.

Русия, която се е изградила не просто като държава, но като една от най-големите световни цивилизации, дълго време не може да живее без собствена наука. Когато основният поток на знания и технологии на световната наука ще постъпва в Русия, заобикаляйки “филтъра” на собствената наука, която свързва тези знания и технологии с географската, културна и социална реалност на Русия, тя бързо ще размива онези цивилизационни контури, които са съединили земята и народите в нашата огромна и необикновена страна.

За да се оцени тази опасност и определи минималната, критична стойност и сили, необходими за руската наука, ние трябва да виждаме в нея не само един от полезните отрасли на икономическата и духовна дейност, а да я разглеждаме като *системообразуващ* фактор на страната, един от нейните корени. Ще посочим онези канали и въздействия, чрез които националната наука участва в създаването, укрепването и развитието на страната и народа ѝ. По време на криза, т.е. когато под заплахата е поставено възпроизводството на страната, тези функции са и главните качества за оценка на ефективността на науката.

Чрез системно образование, средствата за масова информация и личните контакти значителна прослойка от учените формира рационално мислещия човек със съвременен мироглед на природата и обществото. Без да разполага с значима научна общност, израствала на основата на националната култура, страната ни не можеше да извърши тази си функция, защото за възпитанието на научни знания и метод, включвайки ги в интелектуална употреба за народа, е необходимо те да бъдат “преведени” на езика на родната култура. Изключителната устойчивост на съветския народ във войната от 1941-1945 г. и на руския народ в условията на тежка криза днес е до голяма степен резултат на дълговременното “научно възпитание”.

Такова възпитание притежава инерция. Може да се покаже, че до сега (края на XX век – бел.прев.) съществуващата в Русия наука ефективно изпълняваше своята функ-

ция и срыв не настъпи, но той е възможен още при следващото поколение. При това няма да стане като “връщане” на хората към нормите на доиндустриалната или селска култура. Дерационализацията на мисленето на урбанизираното население в условията на социален стрес поражда “цивилизацията на бедните периферии” с масови антиобществени прояви, наркомании и инфекциозни заболявания. Икономичните и социални загуби от “одивяването” на значителна част от населението няма никакво сравнение ни с разходите за наука, ни с ползите от въвеждането на няколко дръзки технологии.

Изпълнението от научната общност на функцията да *рационализира масовото съзнание* е затруднено от следните фактори. Първо, новият политически порядък в Русия използва като главно средство за господство не убеждението или принудата, а внушението и съблазняването (манипулация на съзнанието). За успешната манипулация е необходимо достатъчно задълбочена *дерационализация* на мисленето, намаляване на способностите на гражданите за логически умозаключения и внедряване в масовото съзнание на опростени стереотипи. Именно така, а не с ниската култура на ръководството на телевизията се обяснява запълването на нейната програма с нископробната продукция на масовата култура, фалшивата мистика и „лабораторни суеврия” – при почти пълното отстраняване на просветителския научен дискурс. Просветителската и рационализиращата дейност на науката се оказва в опозиция на съзнателната политика на държавата.

Трудността на положението е не само в това, че науката в Русия, бидейки по своя социален генотип държавна наука, не е готова за ролята на опозиция. По-важен е фактът, че в идеологично отношение научната общност в основната си маса поддържаше перестройката и реформата и стана нейна движеща културна сила. В резултат възникна конфликт на ролите – в качеството си на идеологични работници учените започнаха да изказват твърдения, противоречащи на това, което знаеха като специалисти и трябваше да изказват като просветители. А днес, когато политическата система вече не се нуждае от идеологическата поддръжка на учените, те изчезнаха от политическата арена. Въпреки че противоречието не е изчезнало, а е приело латентна форма. При това, авторитетът, завоюван от учените през изминалия исторически етап, усили негативното въздействие на учените-идеолози върху общественото съзнание: едно е, когато ирационалното или алогично твърдение се прави от астролог или пророк, друго – когато е на известен академик-физик или невробиолог.

Второ, възприемането на просветителските съобщения на учените влияе върху техния статус в обществото. Този статус през последното десетилетие намалява демонстративно. Например, в обществото беше създадено впечатление (може би, даже и лъжливо), че именно науката е била обект на преднамерена дискриминация. Раздразнение предизвиква и реториката на реформите, противоречаща на логиката и фактите. Например, налага се да се слушат изрази от типа „по-нататъшно развитие на руската наука” в момент, когато Световният икономически форум в Давос отбеляза, че Русия по разходи за наука е паднала под тези на Тайван, малка страна със статус на „развиваща се”. Цялата крещяща научна политика се строеше на основата на ирацио-

нални твърдения за „неконкурентоспособността“ на нашата наука, за да бъде оправдан демонтажът на цялата система на отрасловите научно-технически организации.

Светът като цяло е въввлечен в глобална криза („криза на индустриализацията“, „третата вълна на цивилизацията“), символи на която служат частните кризи – екологична, енергетична, демографска, културна и др. Русия е първата голяма цивилизация, която изпита върху себе си въздействието на тази криза в неговата радикална форма. Науката в Русия натрупа голямо, макар и все още недостатъчно оформено, знание за поведението на технологичните, социални и културни системи на изхода, при едромащабни преходи „ред-хаос“. Развитието и формализацията на това знание, което поставя напълно по новому много фундаментални въпроси, важни за самата Русия, но в не по-малка степен и за много други страни от света. Засега функцията на систематизация, теоретична обработка и представяне на знанията за небивалата цивилизационна криза, която преживява Русия, се изпълнява, явно, неудоволитворително. Преди всичко, съществуват големи методологични трудности за учените, които наблюдават кризата „отвътре“ и не могат достатъчно да се разграничат от етичните оценки. Второ, целият обществен живот в Русия е толкова идеологизиран, че е ограничена свободата на изследвания и даже дискусиите. В резултат обществото и държавата не получават знания за кризата, които науката би могла да й предостави. А световната общност (преди всичко научната) има доста изкривена представа за ставащите в Русия процеси и тяхната митологизация носи определени загуби за Русия.

Русия живее в бързо изменящ се свят, който при това създава огромен запас от знания за природата и човека. Тези знания, необходими за развитието и съществуването на самата Русия, постъпват в нея отвън по механизма push-pull („дърпай-бутай“). Само силна и структурно пълна отечествена наука може да служи като механизъм, който може да достави в страната необходимите й знания от световната цивилизация. Страните, които не притежават такъв механизъм, получават филтрирани и изкривени знания, губят реалната независимост и са въввлечени от водещите световни държави и блокове в тяхната орбита и служат най-вече за „материал“. Засега тази функция се изпълнява неудоволитворително, основно по същите причини, както и предната. Учените на Русия са социалната група, проявила изключително висока активност в периода на преустройство и реформи и сама попаднала под влияние на създадените по това време идеологични митове на евроцентризма. В резултат възприемането, осмислянето и излагането на знания за процесите, протичащи в света, носят днес забележима идеологична окраска и изкривена информация.

За посочените страни от битието на Русия отечествената наука е обезпечавала знания във всякакви периоди – и стабилни и преходни. Понастоящем Русия преживява период на нестабилност, криза и преходни процеси. В такъв период на науката се възлагат съвършено особени задачи, които в много малка степен могат да бъдат решени за сметка на чуждестранна наука, а най-често не могат да бъдат решени от никой освен от отечествената наука. Например, в условия на криза и в социалната и в техническата сфера възникват напрежения, аварии и катастрофи. Да се забележат ранните симпто-

ми от рискове и опасности, да се изучат причините и намерят най-добрите методи за тяхното предотвратяване може само онази наука, която е участвала при формирането на тези социални и технологични сфери и ги е „ръководила“ по време на техният стабилен етап. Ако мощността на науката по време на криза е недостатъчна, броят на техногенните и социални катастрофи ще нараства, а разходите за отстраняването на последствията от тях ще нарастват в непредсказуеми мащаби.

В условия на остра криза възниква необходимостта значителна част от отечествената наука да премине към съвършено други, различни от обикновените, критерии за приемане на решения и организация – вече не „за увеличаване на богатата“, а за „намаляване на вредите“. Това налага особена гледна точка при оценка на ефективността на науката. По необходимост оценката трябва да отговаря на въпроса: „Какво би станало ако няхаме знания за дадената система или процес?“ Да се замени такава оценка от пресмятането на изгодите от внедряването на една или друга технология (която в днешните условия по-често е по-изгодно да се внесе) означава да се отклони вниманието от главното. Трудността на прехода към други критерии е свързана с това, че полезността на изследванията, насочени към предотвратяване на вредите, принципно не само че не се определят, но даже и не се осъзнават като такива, точно когато дадената функция се изпълнява от науката най-ефективно. Докато няма пожар, поддържането на пожарна команда мнозина са склонни да разглеждат като ненужен разкош – ако не съществуваше колективната памет. Науката, която има работа с изменящата се структура на рисковете и опасностите, не може да разчита на такава колективна памет.

В значителна (а вероятно и в по-голямата си част) усилията на научната система на Русия, вследствие на кризата изисква изменение на приоритетите и даже на типа дейност. През 1930-те години в СССР беше изградена и до края на 1980-те все още съществуваше твърда обществена система с висока стабилност и предсказуемост на основните параметри на устройството на живота. В съответствие с тази характеристика се формираха и критерии за избор на приоритети в науката и начина на съставяне на научни и научно-технически програми и проекти. Обаче вече цяло десетилетие Русия живее и още няколко десетилетия ще живее в напълно друга ситуация – в процес на редица прекършвания и бързи изменения на основни системи на жизненото устройство. Възниква насъщната потребност за срочно получаване от науката отговор на множество възникващи неочаквани и нови, а понякога и безпрецедентни въпроси. Знание за избор на най-добрите решения на проблемите, възникващи пред Русия, обществото на интуитивно ниво не разполага – както поради тяхната принципна новост, така и поради загубата на необходимата част от историческата памет в хода на индустриализацията и урбанизацията.

В науката могат да се различат два различни възгледа за света: *наука на съществуването*, при който вниманието при постановката на научните проблеми е съсредоточено върху стабилните процеси и отношения, и *наука на развитието*, когато главният обект на изследването е нестабилността, преустройството на системата, кризата на старото и зараждането на новото. И двата типа научно знание и дейност

са необходими и се допълват взаимно. Обаче в различните периоди на съществуване приоритетите се менят и в съвкупността от водещи научни програми доминира единият или другият подход. Днес Русия преживява такъв етап, когато трябва бързо да се създават и поддържат изследователски групи, лаборатории и даже центрове в духа на науката на развитие. А инерцията на огромната система на съветска наука е такава, че съществуващите лаборатории самопроизволно да се превключват на съвсем друг тип критерии (даже и друг тип на мислене – да усвоят философията на нестабилност) не могат. Те трябва да бъдат подтиквани и стимулирани към нова от съзнателна държавна политика.

Науката на днешна Русия наследи от съветската наука забележителни, водещи в света школи в областта на „науката на развитие”. Нашите учени внесоха огромен принос в развитието на фундаментални математични и физични теории на прехода „ред-хаос”, учението за катастрофите, понятието за критични явления. Много от тези съвременни фундаментални теории намериха практическо приложение в изследвания и разработки в области на процесите на горенето и взрива, верижните химически процеси, в аеро– и хидродинамиката, океанологията и т.н. Възгледа за света чрез понятията за ред, хаос и самоорганизация, учените на Русия свързаха не само за природни явления и техниката, но и на обществените процеси. М.М.Бахтин положи основите на основно световно направление за научно осмисляне на културата.

Обаче, тези резерви и налични знания сами по себе си, не се наслаждат в комплексни научни проекти и програми, отговорни за поставените пред обществото актуални проблеми. Проектите и програмите се съставят основно в старите виждания. За преход на ново ниво е необходима политическата воля на „социалния поръчител”, изразена или в пари, или в административни решения.

Насъщните необходими навици и институции не могат да възникнат сами по себе си, или по-точно те възникват или извънредно бавно, или изискват големи жертви и загуби. Трябва да се оказва помощ на науката, способна да снабди обществото и държавата със знания за огромната медико-биологична, културна, социална и политическа проблематика, пред каквато Русия се изправя в края на XX и началото на XXI век.

Главният критерий за оценка на състоянието на науката на страната днес е възможността за нейното възстановяване и възпроизводство след излизането ѝ от кризата, а съвсем не създаването на „конкурентоспособни технологии”. Обаче, за възприемането на този критерий и произтичащите от това оценки е необходимо вникването в дълбочина на културните и организационни особености на руската наука, които могат да бъдат разбрани не чрез логически пресмятания, а въз основа на анализа на историческите особености на страната. Това е главният, но не единственият критерий.

Противоречивостта на ситуацията е в това, че при избора на решения се налага да се следват две групи критерии: от една страна е необходимо да се гарантира „генетическият механизъм” на науката в страната, така че след преодоляване на кризата тя да може да бъде възстановена в необходимия обем и с необходимата структура. От друга страна, точно поради критичността на преходния период рязко нараства необходимост-

та от научно знание, добито именно от учените на страната, – т.е. необходимостта от активно действаща и актуална наука.

Противоречието между тези две задачи е в това, че те се решават, всяка от тях, по свой начин, и че и двете изискват значителни средства. Запазването на „генофонда”, матрицата на голямата научна система, е задача за *консервация*. То изисква намаляване на активните процеси, съкращаване на продуктивната дейност, което наподобява на анабиоза. Подлежат на запазване не непременно най-продуктивните и дееспособни понастоящем структури, а онези, които по-леко пренасят екстремалните трудности, запазвайки при това културния тип на родната наука.

И обратно, при днешните условия конкретни, активни знания най-добре могат да произвеждат временни групи и лаборатории, способни да мобилизират целият си ресурс, да се „напрегнат” като в спринтово бягане. По такъв начин трябва да бъдат разработени и реализирани два принципно различни и конкуриращи се за ресурси програми,

От гледна точка на посочените по-горе функции родната ни научна система днес е недостатъчна както по мащаби, така и по структура. Тенденциите за изменение на тази система при продължаващото протичане на процесите в нея са като цяло неблагоприятни. Положението, обаче, не се е влошило под критичното ниво, основните елементи на научния потенциал са запазени и при изпълнение на правилно избрана програма за реформи страната може в кратки исторически срокове да възстанови и развие родната наука до необходимото ниво.

Чрез процес на самоорганизация се извърши „спорообразуване” на научните колективи – преминаване в състояние на „анабиоза” -дееспособност при извънредно малки разходи на ресурси. Даже изчезването на много школи и направления често е само привидно, формално – запазени са много притежаващи знания и опит хора, инструменти, текстове, и всичко това може наново да бъде събрано в жизнеспособна лаборатория. Обаче процесите на разрушение са нелинейни, и положението може да се измени бързо, с възникване на автокатализ – самоускорение под въздействието на продуктите на разрушение. Необходимо е постоянно внимание на научната общност или поне вътрешен диалог, освободен от идеологични пристрастия.

„Социальные функции науки в условиях кризиса”. С.Г.Кара-Мурза.

„Вопросы Истории Науки и Техники”, № 2, 2002.

Превод: Н. Ахабабян

МОЯТА КРАСИВА НАУКА

В. Василев

“... – Откъде да започна? – попита лакея.
– Започни от началото и завърши накрая!
– отговори краля. ... “

Четиринадесет хиляди години пр. Хр., неандерталец се опитва да си проправи път през пещера, бутайки камък, запречващ входа, с две ръце, но не му се отдава... Внезапно той притиска камъка с рамо, прикляка с единия крак, а с другия натиска здраво в земята. След силен тласък, той успява да избута тежестта...

Дълбоко в сърцето на Австралия, гризач намира тъмнозелен храст, необезпокояван той понечва да отхапе от листата, спира го остра миризма на горчиви бадеми, той не посяга към листата...

Неандерталецът не знае, че с промяната на телесното си положение ще придаде по-голяма компонента на силата си в хоризонтално направление, което ще се отрази в избутването на камъка, нито гризачът подозира, че миризмата на горчиви бадеми се дължи на наличието на цианиди в храста от евкалипт, но изглежда тези сведения не са нужни на двамата герои за адекватен подход към ситуацията. Къде е мястото на науката тогава, след като повечето нейни изводи не са релевантни относно конкретното събитие?

В сегашното изложение ще бъдат представени моите възгледи относно връзката човек-природа и човек-наука, съществуващата взаимна еднозначност между тях, както и моя подход към интерпретиране на тези релации.

Нека първо споделя моя мироглед относно обекта на науката като цяло. Дали ще е физика, химия, математика или друга наука, всяка разглежда дадена система, събитие, явление, като изследва параметрите, характеризиращи системата, търсейки зависимостите между тях. Ключово в тази поселедователност на действията е разпознаването на най-малките съществени функционални единици за системата и намирането на линейни връзки между тях. Именно “сглобяването” на тези единици чрез принципа на суперпозицията дава глобална представа за свойстата на системата. В тази връзка значими се оказват понятията “анализ” и “синтез”. Например анализирането на звуков сигнал може да протече по следната последователност: комплексният сигнал се “разлага” на множество елементарни функционални сигнали, в случая синус- и косинус-функции с различна ъглова честота и фаза, но всяка една от тези функции има различен принос в описване на комплексния сигнал. За намиране на тези приноси се прилага Фурие-анализ. Накрая се изготвя “спектъра” на сигнала (функцията), като се намират всички “градивни елементи”, съставляващи сигнала.

Тези разсъждения ще се окажат от съществено значение за по-нататъшното излагане на аргументацията.

Точно в методиката на този процес осъзнавам красотата на науката. Моята красива наука се явява посредник между човека и природата, тя изгражда връзката между съзнанието и метафизиката, тя си служи с особени прийоми, има свой собствен стил и изказ. За реализирането на връзката човек-природа моята красива наука използва “адекватни” въпроси зададени от човека към природата. От гледна точка на природата те намират въплъщение в “остроумни” експерименти. Именно науката представлява кореспондента, който ще трансформира изхода от експеримента (измерването) в еднозначен отговор. Казано чрез езика на математиката множеството на адекватните въпроси (експерименти) има биективно изображение с множеството на адекватните отговори. Всички тези разсъждения бяха породени от гениален експеримент, който провокира съзнанието ми в този ред на мисли. Когато за пръв път имах досег с изследване на хармонични трептения за системата маса-пружина, приведена в осцилация, се постави резонният въпрос, дали това колебателно движение на системата може да се моделира с подходяща функция. Прилагането на Втория принцип на механиката доведе до следната диференциална зависимост: $md^2x/dt^2 + kx = 0$. Задачата беше да се реши това диференциално уравнение, но в контекста на експеримент (въпрос към природата), който се състоеше в следното: системата маса-пружина беше поставена вертикално, а върху масата беше прикрепен спрей, който имаше за цел да опише графично зависимостта (функцията) върху фона на специална система от ролки, които движеха с постоянна скорост кадастрон по хоризонтално направление. Системата маса-пружина беше приведена в осцилация. Докато тя извършваше движение във вертикална посока, спрейт описваше функцията в хоризонтална. Върху кадастрона ясно се очерта синусоида, което подсказваше за периодичния характер на движението. Тогава си казах: «Това е забележително... това е красиво...!!!» Всичко това ме насърчи да погледна по друг начин на експеримента и да променя изцяло отношението си към науката.

Моята красива наука е родена от дедукцията, тя е инструмент, с който трябва да се работи деликатно, тя хвърля критичен поглед към началните сведения за системата и третира информацията като форма за предаване на енергия между две системи и обратно, тя не претендира за достоверност и всеобхватност, не търси подкрепа или разбиране, тя се гради на моята представа за първичните начала на света. От съществено значение се явяват не автентичността на дадено твърдение или изложение, а гъвкавостта, размахът, напасването и креативността, приложени върху начина на мислене и разсъждаване, на базата на събрани експериментални факти. Това ще подкрепя със следния пример за възгледите в света на физиката до 30-те години на XX век, когато ясно са се диференцирали природата на корпускулярните и вълнови свойства на материята. След квантовата революция обаче тези две понятия конвергират до неразличимост, т.е. на въпроса, дали електронът, например, е вълна или частица, не може да се отговори еднозначно – зависи от конкретната ситуация, в която или едните или другите свойства ще се проявят. Това е отличителен белег на

микросвета, но накрая това, което остава след появата на нов експеримент, влизащ в противоречие с досегашните теории, е именно промяната на начина на разсъждения и осмислянето на фактическото положение на нещата под друг ъгъл. Това често налага и промяна в математическия формализъм, използван до този момент. Например за боравенето с механиката са необходими знания по диференциално и интегрално смятане, за електромагнитната теория на Максвел – диференциална геометрия, за квантовата механика – линейна алгебра, за общата теория на относителността – тензорна алгебра и т.н.

Нека направим следния мисловен експеримент. Разполагаме със система, за която имаме начална база данни и да поставим въпроса, как се сдобихме с тези данни, идват ли те със системата априори, «безплатно», или може би трябва да «заплатим» с нещо за наличната информация? Очевидно за сдобиването с тази информация трябва да направим серия от експерименти. Но може ли даден бит информация да се «търгува» за друга физическа величина? Като универсална валута в природата подозрение буди енергията, но има ли някакъв резон в това? Ще подкрепя това съждение със следния пример от квантовия свят. «Леки» частици, намиращи се в потенциална яма с даден капацитет енергия, при добро познаване на положението на частицата, могат да се окажат от другата страна на «барьерата», да «тунелират». Разбира се, това се обяснява с принципа на Хайзенберг, според който ако много добре познаваме положението на частицата, губим представа за реалния импулс на системата, а от там и за енергията на системата. Но да разгледаме нещата по друг начин. Именно познаването на положението на частицата промени енергията на системата, респективно изхода от експеримента. Да допуснем, че всеки бит информация е еквивалентен на дадено количество енергия, т.е. формално може да настъпи трансфер на енергия, чрез обмяна на информация. Ако това е така, то трябва да се подкрепи с някакъв «механизъм», по който се осъществява процеса. В последния случай, за локализирането на частицата е необходимо «контактуване» с електромагнитно лъчение с дължина на вълната, близка до тази на размерите на частицата, което ще способства за по-точното локализиране (по-добрата резолюция). Еластичните удари между пакетите информация на светлината – фотоните и частицата ще обуславят непредвидим трансфер на импулс, което ще се отрази в неедновременно познаване на местонахождението на частицата и нейния импулс. Тези две величини са комплементарни относно провеждането на еднозначен въпрос/експеримент. Това има някои интересни следствия. Да разгледаме система, за която не знаем абсолютно нищо. Правим експерименти, за да разберем основните параметри на системата, но това автоматично гарантира, че обменяме информация със системата, което променя нейната енергията, а оттам и връзката между параметрите. Означава ли това, че системата вече не е «същата»? Нима колкото повече информация получаваме за системата, толкова повече губим и представа за реалните връзки между параметрите?

От този парадокс може да излезем като разсъждаваме по следния начин. За мак-

росвета, изглежда, че обменянето на информация не променя драстично енергийното състояние, затова такъв ефект не е наблюдаван при такива системи. Но при микросвета такива ефекти трябва да се вземат под внимание. Разбира се, има разработени математически модели, които дават някаква статистическа вероятност за събъждането на дадено събитие, но може ли по друг начин да стигнем до това и какви следствия ще открием по пътя. Използвам следното тривиално твърдение: вероятността да знам всичко и да не знам нищо за системата е единица (100%)! Но това има много нетривиално следствие, това означава, че двете множества образуват генерална съвкупност, т.е. не притежават общи елементи, което пък означава, че между двете множества ще съществува «биективно» съответствие, което ще се диктува от особен параметър на системата, който остава постоянен независимо от информацията, събрана за системата-инвариант. Нормално е инвариантът за конкретния случай да се дефинира като сума от две консервативни величини – енергията и информацията.

Цел на моята красива наука е изучаването на тази величина. Това ме води до идеята за кодиране на инварианта на системата в някакъв геометричен обект като се водят по аналогия между елементите на симетрия между геометричните обекти и техните инварианти. Например една окръжност в двумерното пространство притежава ротационна симетрия и удовлетворява уравнението: $x^2 + y^2 = r^2$. Това е инвариантът на системата, независимо от точката върху контура на окръжността. За функции от повече аргументи прилагам следния ред на мисли. Дори и да не могат да се визуализират функции на повече от две променливи, техните елементи на симетрия се запазват в техните линии на ниво. Например една полусфера притежава за линии на ниво окръжности, елементът на симетрия се запазва. Всичко това се обобщава в следния алгоритъм за изучаване на инварианти. Начална база данни, кодиране информацията като функция на няколко променливи в геометричен обект, използвайки адекватна теория, редуциране дименсиите на обекта до една или две. Определяне групите на симетрия, а оттам и инварианта, постепенно покачваме дименсиите, като паралелно с това се променя инвариантът. Всичко това по аналогия наподобява процеса анализ-синтез, в това намирам очарованието на Моята красива наука.

Остава въпросът дали може да се дефинира глобално информацията като свойство на системата и как може да се «контролира» потокът информация в даден контекст. Моето становище по въпроса е следното: информацията трябва да е свързана с инварианта и енергията на системата по еднозначен начин. Затова чисто формално адекватна, но не единствена, дефиниция се явява: дадено «количество» информация ще е еквивалентно на промяната в стойността на инварианта (каквато и да е тя в случая), отнесено за промяна на енергията на системата с единица, т.е. от математическа гледна точка даден бит информация е равен на първата производна на инварианта спрямо енергията. Такава една дефиниция подкрепям с факта, че отношението е интензивна величина и не зависи от мащаба на системата, което ще улесни анализа. За анализирането на потока информация, минаващ през границата на една система за единица време, не смятам, че

може да се държи сметка. Но мисля, че в граничния случай за него може да се добие някаква представа. Да разгледаме микросистема, която непрекъснато «захранваме» с поток информация, например извършваме много «бързо» серия от експерименти. Ако успем да намерим вариацията от получените серии данни, която не се променя, ще се сдобием с инварианта. В този случай потокът информация през системата става «стационарен», системата е в динамично информационно състояние по аналогия на термично равновесие. Това ме кара да се замисля, може би между температурата и информацията има някаква неразделна връзка, все пак повечето явления и състояния са силна функция от температурата, а и температурата е едно от тези понятия, които подлежат на различни интерпретации в зависимост от контекста. Може би температурните флуктуации са в пряка връзка с информационния поток. От статистическа гледна точка температурата дава представа за интензитета на «хаотичното» движение на конгломерация от молекули в субмакро система. Но в средното разстояние, което отделните молекули изминават без сблъсъци помежду си – средния свободен пробег, се съдържа информация относно движението на молекулата без обмен на информация с други молекули.

Бих искал да систематизирам всички изказвания, които направих до този момент. Това, което се опитвам да направя, е да си изградя нова концепция относно разглеждането на системи като обособя общи признаци, присъщи за тях. Основните свойства в една система аз разпознавам в следните три величини – «скрита» инварианта, енергия и информация. Опитвам се да покажа, че тези величини са взаимно свързани и комплементарни. За целта обаче трябва да направя преход между макросистеми (много частици) и микросистеми (малко частици). За макросистеми е присъщо, че енергията се разглежда като възможността на системата да извършва работа. Последната, от молекулярна интерпретация, представлява «насоченото» движение на съвкупност на частици по дадено направление. Информацията се съдържа в това кооперативно, нехаотично движение, където не се наблюдава «разсейване» на потока информация от външни или вътрешни взаимодействия (напр. сблъсъци). Тъй като инвариантата е кодирана в геометричен обект, за който релевантни са само групите на симетрия, тя дава представа за инертността, а оттам и за «ефективната» маса на системата, както е случая с геометричния инерционен момент в механиката, който е изцяло функция на геометрията, но не и на веществото. Когато мащабът на системата приближи микроразмери, тези концепции трябва да се ревизират. В този случай експериментът съществено повлиява на поведението на системата. Същественото тук е, че за адекватно изучаване на системата/частицата, трябва да се вземе предвид и комплементарната анти-система/частица, която съдържа допълнителната информация.

Всичко споменато дотук може да не съответства на истината, може методът да не е оптимален, да не дава точна информация или да не се прилага към всяка система, но наистина какво по-сладко удоволствие от това да имаш свой мироглед и свой начин на тълкуване, да достигнеш качествена самоидентификация и да намериш

своето отношение към заобикалящия свят, всички мисли в съзнанието ти да придобият цялостност, хармония и порядък. Осъзнавам, че всички знания, придобити до този момент, имат временна значимост, след известно време може да се появи нов революционен експеримент, респективно нов гениален въпрос, който ще сложи основите на нов начин на мислене и всички знания, придобити до този момент, ще получат ново значение.

Така ме променя науката всеки ден, кара ме да разсъждавам, да анализирам, да творя, да се съмнявам в аксиоматичното и да се изумявам всеки път от явленията, съпътстващи ежедневието. Няма как да остана равнодушен от мисълта, че може би всяка една частица от нас носи информация за миналото и бъдещето и как човешкият ум се опитва да декодира този шифър, как потокът информация може да е реален физически феномен, как се поражда порядък в привидния хаос...

ПРОЕКТ „ПОЧЕТИ МИ“

Основна част от проекта е доброволци да прочетат на глас и запишат 20 статии, съобразени с учебния материал и подходящи за младежи от 16 до 18-годишна възраст.

Идеята на проекта „Почети ми“ е започната още преди две години от списание „Българска Наука“, www.nauka.bg, със съдействието на незрящи, които боравят с Интернет.

Прочетените статии ще бъдат записани на 1000 диска (CD), във формат, достъпен за незрящи. CD-тата ще се разпространят в училищата за слепи в София и Варна, в структурите на Съюза на слепите, сред много организации, работещи с деца с подобни проблеми.

Проектът е насочен към подпомагане на децата и младежите с увредено зрение, като чрез улесняване на достъпа им до подобрите материали цели приобщаването им към неформалното образование, запознаването им с научна и научно-популярна литература и в крайна сметка подпомагане на образованието и интеграцията им.

Всички, които искат да участват в проекта, да пишат на и-мейл admin@nauka.bg.

Всички доброволци ще получат грамота и официално ще се впишат като участници в проекта.

**ПРОФЕСОР ДФН НИКОЛАЙ МАРТИНОВ
(1939-2011)**

На 21.09.2011 г. на 72 години почина проф. дфн Николай Мартинов, почетен член на Съюза на физиците в България.

Проф. Мартинов е роден през 1939 г. в Плевен. Завършва физика в СУ „Св. Климент Охридски“. През 1974 г. става доктор на физическите науки, а през 1981 г. е избран за професор по обща физика. Обучил е над 2000 студенти и е бил научен ръководител на шест докторски дисертации. Бил е зав. катедра „Физика на кондензираната материя“, зам.-декан на Физическия факултет, зам.-ректор и ректор на СУ. Бил е член на СНС по ФКМ. От 1999 г. до 2004 г. е Председател на НАОА. Бил е и зам-председател на ДФБ.

Научните интереси на проф. Мартинов са в областта на нелинейните вълнови взаимодействия и нестабилността на неравновесни плазмени среди, самоорганизация и еволюция в кондензираната материя. Публикувал е над 90 труда с висока научна стойност, широко известни у нас и в чужбина.

Носител е на почетния знак на СУ „Св. Климент Охридски“ със синя лента и на орден „Св. Св. Кирил и Методий“ – първа степен.

Със своята интелигентност и финес в отношенията си с хората той оставя у физическата колегия един висок пример за уважение и почит.

От Управителния Съвет на СФБ

**ПОСМЪРТНО СЛОВО ЗА ПРОФ. НИКОЛАЙ МАРТИНОВ
(произнесено на 23.09.2011 год., в черквата “Св. Неделя”)**

“Животът е необратим и неравновесен процес” – казваше проф. Н. Мартинов със своята тънка и малко тъжна усмивка. Суровата необратимост на живота достига до нас в житейски смисъл (научната истинност на горното съждение е неоспорима) в последния етап на живота – момента на смъртта или след това, ако сме загубили близък, колега или приятел.

С Николай се познаваме от 1959 год. от варненските студентски плажове. Почти целия си служебен път сме преживели в една катедра, а през 60-те години бяхме в един кабинет. След раздялата на катедрата по физика на твърдото тяло през 1987 год. проф. Н. Мартинов беше първият ръководител на катедрата по ФКМ. От 1993 год. до неговата оставка през 1998 год. бяхме в един ректорски екип (а той беше зам.-ректор и преди това – при проф. Н. Генчев). Когато през 1997 год. бях за кратко време министър на образованието и науката в служебното правителство, аз помолих и с негово съгласие възложих на проф. Мартинов да изпълнява длъжността Ректор на Софийския университет, което е израз на моето високо доверие към него. Такова високо доверие и оценка на качествата му от правителството и обществеността представлява назначаването му през 1999 год. за председател на Националната агенция за оценяване и акредитация, която длъжност проф. Мартинов изпълняваше с чест пет години.

Проф. Н. Мартинов беше професионалист – изследовател по физика на нелинейните процеси в плазмата с признати приноси в областта. Интересно е, че той имаше романтично отношение към резултатите от нашата строга наука, които предизвикваха неговия интерес, любопитство и увереност в тяхното широко влияние върху цялото човешко знание. Не случайно аз се сетих за неговата мисъл в началото, в която биологичното понятие “живот” се интерпретира с понятия от термодинамиката.

Проф. Н. Мартинов беше ценен и уважаван лектор във Физическия факултет, който със своите лекции по обща физика за дълги години въвеждаше нашите първокурсници в трудния и увлекателен свят на физиката.

Поклон пред живота и делото на проф. Мартинов. Да бъде светла паметта за него и неговите дела.

Проф. д-р на физ. н. Иван Лалов

ПРОФЕСОР МАРИО ВАЛЕНТИНОВ СТОИЦОВ (1953-2011)

Известният български професор по теория на атомното ядро, доктор на физическите науки, Марио Валентинов Стоицов почина на 4 август 2011 г. в София на 58 години.

Марио е роден през 1953 г. в Благоевград. Завършва Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ през 1978 г.

Работи в Лабораторията по теоретична ядрена физика при Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика–БАН последователно като научен сътрудник (1978-1982), старши научен сътрудник II степен (1983-1992) и старши научен сътрудник I степен (от 1997 г.). Под ръководството на професор Иван Ж. Петков защитава успешно кандидатската си дисертация през 1983 г. През 1993 г. защитава дисертация за „доктор на физическите науки“.

Още от студентските си години Марио Стоицов проявява забележителните си способности за аналитична работа по физика и математика, както и за компютърни пресмятания. Със своите резултати Марио стана международно известен теоретик в областта на физиката на ядрената структура. Най-важните резултати от неговия „Софийски период“ са свързани с развитието (съвместно с професор Иван Ж. Петков) на т.нар. Метод на локално-машабното преобразуване, който намери широко приложение в теорията на ядрото и ядрените реакции. Методът дава полезна рецепта за получаване на правилно асимптотично поведение на ядрените вълнови функции. Този етап от работата на Марио бе посветен и на развитието на ядрената теория на функционала на плътността, в която той и професор Иван Ж. Петков получиха пионерски резултати. Тяхната книга “Nuclear Density Functional Theory” (Oxford Studies in Physics, Clarendon Press, Oxford, U.K., 1991) стана широко известна.

Марио Стоицов постигна съществени резултати (заедно с колегите си в София) и при изучаване на ефектите на нуклон-нуклонни корелации върху характеристики на ядрената структура и реакции. Това се отнася главно до развитието и използването на представянията на т.нар. естествени орбитали и функции на припокриване в изучаването на късодействащи, тензорни и дългодействащи нуклонни корелации и техните ефекти върху ядрената спектрална функция, импулсните разпределения на нуклоните, вероятностите за запълване на едночастичните състояния и други.

Марио посвети време и много енергия в обучението на млади учени. Той взе активно участие в международното сътрудничество на Лабораторията по теоретична ядрена физика в София с учени от Оксфорд, Дубна, Солун, Букурещ, Мадрид, Делауер и други. От 1996 г. Марио бе член на Американското физическо дружество.

През 90-те години Марио прекара няколко значителни периода от време в Техническия университет в Мюнхен. Там той въведе Метода на локално-машабното преобразуване в модерната теория на функционала на плътността в ядрената физика. Този метод се оказа особено полезен в описанието на неутронните “ореоли” (“halo”) и други явления в слабо-свързани ядрени системи, тъй като той елегантно и ефективно свързва изучаването на ядрената структура с използване на осцилаторен базис с явленията в континуума. Също тогава Марио приложи Метода на генераторната координата към ковариантната теория на функционала на

плътността. Това беше пионерска работа, която неотдавна бе доразвита и приложена с голям успех за пълно микроскопично описание на конфигурационно смесване в нисколежащи колективни спектри на основата на универсални ковариантни функционали на плътността. Времето, през което Марио работи в Мюнхен, бе от особена полза за групата от учени там.

В края на 90-те години Марио започна да сътрудничи с групата по теория на ядрото при Университета на Тенеси в Ноксвил (UTK) и Националната Лаборатория в Оук Ридж (ORNL). Впоследствие през 2001 г. той се премести на постоянна работа като професор-изследовател в UTK и беше много важен член на групата. Неговата работа бе свързана главно с ядрената теория на функционала на плътността и, по-специално, с модерни числени симулации. На основата на Метода на локално-машабното преобразуване той разработи мощна техника за пресмятане на свойствата на слабо-свързани ядра, създаде успешен метод за възстановяване на нарушената симетрия на броя на частиците в свръхтекущи ядра и изпълни огромен брой пресмятания на ядрени свойства по цялата таблица на нуклидите. От 2006 г. Марио бе „ключов“ член на колаборацията UNEDF – един тим от около 50 физици, компютърни специалисти и учени в областта на приложната математика. Неговите знания по физика и компютърни умения доведоха до забележителни симулации с използване на суперкомпютрите в ORNL. Сред тях са глобални пресмятания на ядрени свойства, получаване с микроскопични методи на таблици на маси на ядрата, които Марио предостави на ядрената колегия в сайта: massexplorer.org. В колаборацията UNEDF той участва активно в изучаването на нови ядрени функционали, оптимизация на функционали, пресмятания на възбудени състояния и силови функции, както и с развитие на средно-полеви техники подходящи за слабо-свързани системи.

Работите на Марио са тясно свързани и с проблеми на експерименталната ядрена физика при ниски енергии, в частност с областта на радиоактивните ядрени снопове. Много от неговите пресмятания за слабосвързани ядра се използват при съставяне на програми за радиоактивни ядрени снопове от следващи поколения.

Като личност, Марио бе „добрият дух“ в групата в Тенеси и навсякъде, където работеше. С неговото приятелство, ентузиазъм, оптимизъм и усмивка, Марио бе чудесен ментор за младите изследователи.

Ние ще помним Марио Стоицов с неговите многобройни и значими научни приноси в широк кръг от въпроси на физиката на ядрената структура. Той беше не само отличен, международно-известен физик, но също бе чудесен приятел, широко скроена личност, раздаваща щедро дълбоките си знания по ядрена теория на колегите си. Ние ще го помним за неговите изключителни лични приноси към поколения физици, неговата безпощадна честност, забележителната му жизнерадост и чувство за хумор, както и за неговата способност да извлича най-доброто от другите.

Антон Н. Антонов, Институт за ядрени изследвания
и ядрена енергетика при БАН, София, България
Витек Назаревич, Университет на Тенеси и Национална Лаборатория
в Оук Ридж, САЩ

Петер Ринг, Университета в Мюнхен, Мюнхен, Германия
(Препечатано от: Physics Today, v.64, 10 October 2011)

НЕОБХОДИМ СПРАВОЧНИК ЗА ИНЖЕНЕРИ И ФИЗИЦИ

Николай Велчев

Пловдивски университет „П. Хилендарски“



Нашите колеги-инженери Елена и Иван Колеви от Габровския университет са публикували значимо справочно пособие – *Тълковен речник по оптоелектроника, лазерна техника и оптични комуникации, ЕКС-ПРЕС, Габрово, 2011*. Книгата представлява определен интерес за физици, работещи в институти, университети, лаборатории, заводи и като учители. Предназначението на речника е да тълкува терминологията и нейните съкращения (отделно на български и на английски език) от областта на оптоелектрониката, лазерната техника и оптичните комуникации.

Книгата е отпечатана на 452 страници и освен съдържанието си като тълковен речник, включва и текст по охрана на труда и техника на безопасността – което е прецедент в нашата литература. Отпечатано е и Приложение за химическите елементи и съединения, използвани в оптоелектрониката, лазерната техника и оптичните комуникации – като разширена таблица за означенията на английски и български език. В списъка на литературата към речника са цитирани 38 заглавия.

Речникът може да се ползва от най-широк кръг читатели, проявяващи професионални интереси към оптоелектрониката, както и от всички, желаещи да актуализират познанията си в тази научна област, намираща се на предния фронт на съвременната наука и техника, където нивото и значението на постигнатите резултати непрекъснато се повишава (до степен, Нобелови награди да се присъждат по-често в оптоелектрониката, отколкото в други области).

Освен това, оптоелектрониката напоследък се интегрира в една *триада на електронна основа*, използвана все по-широко в трудовото и битовото ежедневие на хората: МИКРО-, НАНО- И ОПТО-ЕЛЕКТРОНИКА. Казваме това, защото от тази триада се очакват решения на **всички** човешки проблеми в широк обхват: от микрокосмоса, през макрокосмоса до Вселената (като място за бъдещото ѝ заселване); материалознанието (неорганично и органично); уредостроенето; околната среда (включително при грани-

цата Жива/Нежива материя); здравето на човека и продължителността на живота му; хуманитарните контакти и взаимоотношенията между хората и т.н.

В подобен смисъл книгата на Елена и Иван Колеви допринася за поддържане на връзката между предните световни научни резултати – като факти и възможности за тяхното ползване и приложение у нас. При това книгата е еднакво достъпна и полезна както за инженери, така и за физици. Разбира се, без да е главна цел, физическото естество на представените резултати в книгата би могло да бъде разкрито и в по-голяма дълбочина и ширина. Например, липсват физически дефиниции за вътрешен и външен фотоефект (вж.стр. 333). Да не забравяме обаче, че книгата на Колеви не е учебник, а помощно т.е. допълнително пособие за специалистите.

От друга страна пък трябва да се има предвид, че речникът на Елена и Иван Колеви е свързан с преодоляването на **гигантски трудности** – дори само за това, че книгата е много трудоемка и няма аналог, по който двамата автори биха могли да използват някакви “сламки”. Друг е въпросът, че в списъка на литературата са цитирани 11 заглавия на книги, съдържащи името поне на един от двамата автори (по мои сведения пък, тези работи са поне 20 на брой)!

Накрая, за сведение на всички, които биха желали да си купят тълковния речник на Елена и Иван Колеви възможно най-бързо, съобщаваме, че на първо време неговата продажба ще бъде обявена само в университетските книжарници на Габрово, София, Пловдив, Варна и Русе.

Броеве на Списание СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА можете да си поръчате и на новия електронен магазин на сайта на списанието:
<http://wop.cointech.net/bg/archive.php>

ИНТЕРЕСНИ УЕБСТРАНИЦИ

Уеб страниците в това издание представят „колегите” на космическия телескоп „Хъбъл” (HST) от програмата на НАСА „Великите космически обсерватории”. Програмата освен телескоп в оптичната и близката инфрачервена област (т.е. „Хъбъл”), включва още обсерваторията „Комптън” за регистрация на гама-лъчи (CGRO), рентгеновата обсерватория „Чандра” (CXO) и инфрачервения телескоп „Спитцер” (SST).

Гама обсерваторията „Комптън” е всъщност комплекс от четири различни инструмента, позволяващи да се регистрират фотони с енергии от 20 KeV до 30 GeV. Изведена в орбита от совалката „Атлантис” на 5 април 1991 год., обсерваторията функционира до 2000 година. Със своите 17 тона, CGRO е най-масивната за времето си астрофизична лаборатория в орбита. За сравнение телескопът „Хъбъл” е „само” малко повече от 11 тона. „Комптън” е контролирано изведен от орбита и пада в Тихия океан на 4 юни 2000 год. За тези 9 год. и 2 месеца обсерваторията: Картографира цялото небе за източници на гама лъчи с енергия над 100 MeV и открива 271 такива. Идентифицира около 2700 гама избухвания (средно по едно на ден) и доказва, че произходът им е извън галактичен. Установява, че по признака продължителност, гама избухванията са два вида, къси до 2 сек, и продължителни (всички над 2 сек). Извършва детайлно наблюдение на активността на ядрото на Млечния път и открива възможен облак от антиматерия около центъра му. Открива повтарящи се (непериодични) източници на гама лъчи, които са относително слаби (под 100 KeV). Картографира цялото небе определяйки разпределението на радиоактивния изотоп на алуминия ^{26}Al и разпределението на пулсари/остатъци от избухвания на свръхнови. На 23 януари 1999 год., „Комптън” регистрира едно от най-мощните гама избухвания, което позволява да се наблюдава оптичното му послесветене и да се определи, че източникът е на разстояние 10 милиарда светлинни години от Земята (с червено отместване $z=1.6$) и излъчена енергия еквивалентна на приблизително 2 слънчеви маси по формулата на Айнщайн. <http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/index.html>

Рентгеновата обсерватория „Чандра” (наречена на името на индо-американския физик и носител на Нобелова награда Субрахманян Чандрасекар) е изведена в силно елиптична орбита на 23 юли 1999 от совалката „Кълъмбия”, последвано от втори етап, при който е използвана двустепенна ракета носител на твърдо гориво. Апогеят и перигеят на орбитата на „Чандра” са съответно 133000 км (около 1/3 от разстоянието до Луната) и 16000 км. Това позволява през по-голяма част от времето да се извършват наблюдения извън радиационните пояси на Земята. Подобно на „Хъбъл”, CXO функционира и понастоящем. Откритията на „Чандра” са толкова много и разнообразни, че е невъзможно даже да бъдат резюмирани тук. Вместо това предлагаме на вниманието на читателите един от последните значими наблюдателни

резултати получен използвайки най-мощния рентгенов инструмент в притежание на човешката цивилизация. На 15 юни 2011 год., NASA публикува дългоочаквана снимка на «най-изследваното късче небе» – южното дълбоко наблюдавано поле на рентгеновия телескоп «Чандра» (CDFs). Същият участък на небето е продължително изследван и от телескопа „Хъбъл” в оптичната и близката инфрачервена област, което позволява да се създаде композитен образ. За да се получи безпрецедентната по богатство и дълбочина информация, „Чандра” се „взирал” в този малък участък в продължение на цели шест седмици. На снимката обектите „видяни” от CXO, са представени в синьо и зелено а тези от HST в червено и зелено. Повече от 200 галактики могат да се идентифицират в епоха съответстваща на 800-950 милиона години след „Големия взрив”. В ядрата на 30% до 100% от тях е установено наличието на супермасивни черни дупки. Това „вдига” популацията от черни дупки в ранната Вселена с фактор от порядъка на 10000 пъти повече отколкото се считаше досега. <http://chandra.harvard.edu/photo/2011/cdfs/>

Инфрачервеният космически телескоп „Спитцер” е последният от програмата изведен в орбита. Наречен е на американския астроном Лиман Спитцер, който още през далечната 1946 год. в статия описва предимствата и значението на астрономически наблюдения извършвани от околоземното пространство. Диаметърът на главното огледало, направено от берилий е 85 см. Работната температура на инфрачервения телескоп трябва да се поддържа близка до абсолютната нула, поради което при изстрелването си SST е зареден с 360 литра течен хелий за охлаждане. Орбитата му също е избрана хитро; хелиоцентрична, следваща Земята, но отдалечавайки се от нея с 1/10 от астрономическата единица на година. Това позволява да се удължи времето на наблюдение на „Спитцер” от първоначално планираните 2.5 години на 5.5 години. Изстрелването на инструмента е на 25 август 2003 год. с помощта на ракета носител Делта II; наличният хелий се изчерпва на 15 май 2009 год., след което телескопът преминава в така наречения топъл режим на работа.

Информацията, събрана от Спитцер, е огромна и уникална. Само тази от последно време включва: Наблюдава транзитите на екзопланетата известна като *55 Рак* е и установява, че повърхността на планетата вероятно е разтопена и изпускаща водни пари и други газове. Идентифицира характерен сигнал, който е свидетелство за съществуването в междוזвездното пространство на въглеродни люспи, наричени графен. Любопитното е, че графенът е синтезиран лабораторно за пръв път едва през 2004 год. Последвалите интензивни изследвания на уникалните му свойства доведоха до присъждането през 2010 година на Нобеловата награда по физика на Андре Гейм и Константин Новоселов. Подробности за тези и множество други открития могат да се намерят на уеб страницата на телескопа: <http://www.spitzer.caltech.edu/>

Подготвил страницата: **Олег Йорданов**

НАЙ-СТРАННИЙТ ЧОВЕК: Скритите страни от живота на Пол Дирак – квантовия гений

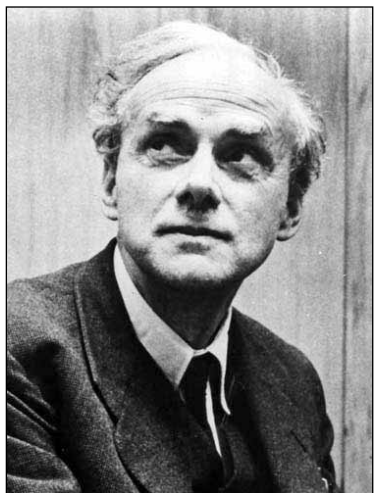
Греъм Фармело

Част IV

Глава 23

Съседите на Дирак смятат, че войната слабо е изменила живота му: той си остава един от професорите, които тихо си вършат работата, а гражданското му задължение е от време на време да дежури нощем в Кавендиш за възникване на пожар. Никой обаче не подозира, че през 1942 и 1943 г. Дирак участва в разработката на ядрено оръжие. Даже Манси смята, че той работи в Кеймбридж по дешифриране.

През август 1941 г. Чърчил одобрява създаването на ядрено оръжие. Проектът носи безличното название „Тръбни сплави“. В научния съвет към правителството единствен Благет смята, че англичаните няма да могат да построят бомбата сами, без сътрудничество с американците. Скоро става ясно, че той е прав.



На Дирак е предложено да работи в специално създадения правителствен изследователски институт в Блечли Парк. Той обаче не приема да напусне Кеймбридж, тъй като това означава да е откъснат от семейството си, а Манси е бременна в четвъртия месец. В Кеймбридж продължава да ръководи аспиранти и да чете лекции по квантова механика. През 1942 г. един от неговите слушатели е Фриман Дайсън – извънредно надарен деветнадесетгодишен студент. Дайсън не крие разочарованието си: според него курсът на Дирак е напълно лишен от историческа перспектива и не помага на студентите за практически изчисления. Вместо да страда мълчаливо, Дайсън развеселява колегите си, бомбардирайки Дирак с въпроси, като понякога го принуждава дълго да размисля, преди да му отговори.

В началото на 1942 г. Дирак размишлява повече за техника, отколкото за квантова механика. Като консултант на „Тръбни сплави“ той е в тясно сътрудничество с Рудолф Пайерлс. В един от първите си доклади Дирак пише относно друг метод за разделяне на изотопи: сместа се инжектира в основата на празен цилиндър, въртящ се бързо около надлъжната си ос. Създадената от въртенето центробежна сила изтласква по-тежкия изотоп към външния слой, а по-лекият се акумулира близо до централната ос, което води до разделянето им. Прилагайки класическа механика, той установява, че

уредът ще бъде стабилен източник на разделени изотопи, ако цилиндърът е с радиус 1 *cm*, с дължина около 80 *cm* и се върти със скорост около 5000 оборота в секунда. Тази техника не намира приложение при производството на първите ядрени бомби – други методи налагат по-леки инженерни изисквания, – но по-късно се оказва предпочитан метод особено за разделянето на уранови изотопи.

Друга работа на Дирак за Пайерлс и неговата група в Бирмингам е теоретичното изследване на поведението на блок от ^{235}U , когато в него протича верижна ядрена реакция. Изчисленията обхващат с подробности протичащите в блока изменения на енергията и позволяват да се изясни дали броят на неутроните ще се измени, ако уранът е затворен в контейнер. Дирак е доволен, когато научава, че резултатите му са споделени с американските учени, работещи върху бомбата, включително и Опенхаймер, който в края на 1942 г. е назначен за Научен директор на проекта, станал известен като „Проект Манхатън“. Опенхаймер се издига като блестящ ръководител на млади теоретици в Бъркли, но повечето от неговите колеги са изненадани, когато генерал Гроувс, назначеният от Рузвелт директор на Проекта, го поканва да поеме отговорността за построяването на бомбата. „Та той не би могъл да администрира даже лавка за хамбургери“ – коментира един от колегите му в Бъркли. Не по-малко изненадващо е, че властите се спират на човек, който е известен със симпатиите си към компартията.

На 29 септември Манси ражда момиченце, наречено Флорънс, на името на Дираковата майка, макар че винаги го наричат на второто му име – Моника. За Дирак семейството му вече е пълно. Дълбоко в себе си обаче той затаява тъгата по свой собствен син.

В Кеймбридж Дирак получава секретни доклади за американските експерименти по построяването на ядрена бомба. Към края на годината той научава за построения от групата на Ферми ядрен реактор, който е пуснат в действие на 2 декември 1942 г. Съществена е самоподдържаща се верижна ядрена реакция.

Малко преди това Пайерлс помолва Дирак да се запознае с отчети от групата на Опенхаймер относно взрива на образец, в който протича разпад на урана. В началото на януари Дирак посочва някои несъответствия в тези материали и обсъжда как би трябвало да се построи ядрена бомба, включително оптималните форми на двете уранови маси, които да се изстрелят една срещу друга, за да възникне взрив. През следващите шест месеца на 1943 г. Дирак изследва теоретично преминаването на неутрони през блок от разцепващ се уран и представя резултатите си в два доклада, единият от които е изготвен в сътрудничество с Пайерлс и двама по-млади колеги от Бирмингам. Единият от тези е квартирант на Пайерлс – избягалият от нацистка Германия Клаус Фукс – непохватен, но любезен младеж на около 23 години, получил образованието си в Бристол. Когато Пайерлс отива заедно с него при Дирак, за да обсъдят това секретно изследване, тримата излизат на полянка в задната градина, за да са сигурни, че никой няма да ги чуе. По време на тези дискусии Дирак и Пайерлс забелязват, че Фукс се държи доста странно: оплаквайки се, че не се чувства добре,

той се отлъчва за неестествено дълго време. Едва след седем години Дирак и Пайерлс ще разберат защо е било такова поведението на Фукс.

Надявайки се войната скоро да свърши, Дирак се залавя да подготвя ново издание на книгата си. Главното му нововъведение този път са новите означения, позволяващи квантовомеханичните формули да бъдат изписвани особено ясно и стегнато.

Основният елемент на тези означения е символът $\langle q$ за квантовото състояние q и за допълващото го q^* ; двете заедно могат да се комбинират в математическа конструкция $\langle q|q \rangle$, наречена „бракет“ (bracket – скоба; *бел. прев.*). Воден от своята праволинейна логика, Дирак назовава частите от скобата с първите три букви *bra*– и с вторите три – *ket*-. Нужни са няколко години, за да стигнат този нови две думи до речниците, а през това време хиляди физици по света, които не говорят английски, се чудят защо даден математически символ в квантовата механика е бил назован с името на елемент от дамското бельо (*bra* – сутиен; *бел. прев.*).

Войната в Европа завършва на 8 май 1945 г. Ако обаче Дирак се надява, че науката бързо ще се върне към нормалното си състояние, той се лъже. Неколцина водещи британски учени, между които Блакет и Дирак, са поканени в Москва по случай 220-годишнината на Съветската академия на науките. Обаче Чърчил не им разрешава визи. Основанието, както става ясно по-късно, е, че Дирак и неговите колеги могат да споделят със Сталиновите учени някои от ядрените секрети.

На 6 август Дирак чува новината, от която толкова много се е опасявал: с мълчаливото съгласие на британското правителство американците са хвърлили ядрена бомба над Хирошима и са убили около 40 хиляди японски граждани. По-късно вечерта радиото ще съобщи, че бомбата е била с мощността на две хиляди обикновени десеттонни бомби и е била пусната над японска военна база.

Към октомври 1945 г. животът на Дирак в Кеймбридж се връща в нормалното си русло. Когато започва лекциите си по квантова механика, той е изненадан от големия брой слушатели, някои от тях все още във военни униформи. А когато англо-френското Общество за разпространение на научни знания, го поканва да изнесе лекция на тема „Постижения на атомната теория“, слушателите са няколкостотин души. Повечето от тях обаче очакват да чуят за последните постижения на ядрената технология. Мнозина не дочакват да чуят на тази лекция двата нови термина, въведени от Дирак: „фермиони“ – квантовите частици, които се подчиняват на законите, формулирани от него и Ферми, и „бозони“ – другият вид квантови частици, подчиняващи се на законите, формулирани от Айнщайн и индийския теоретик Шатендранат Бозе.

Дирак вече е значително над тридесетгодишната възраст, която според него бележи края на творческата кариера на физика теоретик. Той е изправен пред въпроса: дали не е прекалено стар, за да произвежда радикално нови идеи?

Глава 24

През септември 1946г. Дирак е на конференция в Принстънския докторантски колеж на тема „Бъдещето на ядрената физика“. Нейният организатор Юджийн Уиг-

нър, току що приключил с Манхатънския проект, е съставил внушителен списък на поканените, сред които Блакет, Ферми, Опенхаймер, Ван Флек и семейство Жолио-Кюри – всички те готови да загърбят войната и да отворят нова страница във физиката.

В началото на втория ден на конференцията Дирак е представен от един от най-ярките научни таланти на Америка – Дик Файнман. Израсъл в покрайнините на Ню Йорк, бликащ от идеи и студентски хумор, но все още тъжаш за съпругата си, починала преди 14 месеца (от туберкулоза), той по-късно ще си признае, че тайно се е опасявал дали вече не е прегорял. Когато представя Дирак, той не храни големи очаквания: преди няколко седмици е прочел ръкопис от своя герой и е претърпял разочарование, смятайки материала в него за назадничав и безинтересен. Час по-късно Файнман издебва удобен случай, когато Дирак се е излегал на тревата, и го заговаря. В статията си, където показва как класическият принцип на най-малкото действие може да се приложи към квантовата механика, Дирак загадъчно отбелязва, че дадена фундаментална квантова величина е „аналогична“ на своя класически двойник. Файнман обаче смята, че тя не просто е „аналогична“, а е „пропорционална“, след което задава въпроса си:

ФАЙНМАН: Знаехте ли, че те са пропорционални?

ДИРАК: Наистина ли?

ФАЙНМАН: Да, пропорционални са.

ДИРАК: Това е интересно.

После Дирак става и се отдалечава. След време Файнман става известен с новата си версия на квантовата механика. Той обаче смята, че не е направил нищо ново и многократно повтаря: „Не знам защо е целият този шум – Дирак е направил всичко преди мен“.

Следващите пет години стават свидетели на нова теория на електроните и фотоните – в известен смисъл апогей на петдесет години теоретична физика. След войната физиците настояват, че заслужават техните изследвания да бъдат финансирани от държавата. Правителството на САЩ и частните институции охотно финансират теоретичната физика. Много повече средства са отпускани за експериментите с машини, които позволяват да се надникне в строежа на веществото. По подобен начин се развива физиката на високите енергии и в Европа.

Първата конференция на водещи субатомни физици, състояла се в САЩ след



войната, през юни 1947 г., съставя програмата за изследвания в тази област за следващите тридесет години. Двадесет и трима внимателно подбрани учени – всичките мъже – са се събрали в гостилница в самотното място на Шелтър Айланд, на източния край на Лонг Айланд. Конференцията едва ли би могла да има по-ефектно откриване: в първите два доклада експериментатори съобщават, че уравнението на Дирак дава предсказания, които противоречат на някои нови експериментални резултати. Първият докладчик, Уилис Ламб, прилича на каубой, който случайно е попаднал във физическа лаборатория. Но външността му е измамна: това е задълбочен мислител и перфектен експериментатор, който може да защити позициите си даже пред най-добрите теоретици. Неговият доклад включва конференцията на най-високи обороти, след като той съобщава за един сериозен недостатък на Дираковата теория: две нива на атомния водород, които според теорията трябва да имат еднакви енергии, се оказват с леко различни енергии. При преход между тези две енергетични нива на водородния атом се излъчват фотони, които Ламб и неговият ученик Робърд Ридърфорд успяват да регистрират. В майсторски подготвен експеримент, като използват развитата по време на войната микровълнова техника, те изучават тези фотони и показват, че всеки един от тях има енергия, която е близо милион пъти по-ниска от енергията на кванта на видимата светлина.

При следващия доклад, изнесен от експериментатора Изидор Раби, от Колумбийския университет в Ню Йорк, публиката научава още по-изненадваща новина: силата на електронния магнетизъм може да се окаже по-малка от тази, която се предсказва от теорията на Дирак. Публиката е в еуфория: това са две наблюдения, които вещаят края на владичеството на красивата Диракова теория и представляват решаващи проверки за всяка друга теория, която би я заменила. Опенхаймер поддържа напрежението на публиката с допълнителните си въпроси към докладчиците и с елегантните си и показно остроумни редакционни бележки. В края на конференцията става ясно, че основният проблем е да се намери обяснение на Ламбовия резултат.

Дирак обаче, който по същото време е в Принстън, не знае нищо за тези събития: той е отказал на поканата да участва в конференцията и прочита за нанесените срещу неговата теория удари от първата страница на неделния брой на *Ню Йорк Таймс*.

В рамките на две години след конференцията в Шелтър Айланд резултатите на Ламб и Ридърфорд биват обяснени от двама от най-младите участници в конференцията. Единият е Файнман, а другият е нюйоркчанинът Джулиан Шуингър – затворен и необщителен, с маниерите на принц и с твърдия характер на боксьор. Двамата са на еднаква възраст, и двамата са чели книгата на Дирак в крехка юношеска възраст и основават своите теории върху идеите на Дирак. Все пак двете теории изглеждат твърде различни: математическият подход на Шуингър е труден за разбиране, докато Файнмановият е интуитивен и използва специални диаграми, които позволяват, поне на пръв поглед, лесно да се илюстрират теоретичните идеи. Двамата метода водят до еднакви резултати и всеки, с изключение на Шуингър, смята, че Файнмановите методи са по-ефикасни и по-лесни.

Както се оказва, същите резултати са били получени няколко години по-рано от японския теоретик Шиничиро Томонага, който построява теорията си върху Дираковата версия на квантовата теория на полето. Като студент Томонага е фанатичен читател на Дираковата книга и е сред публиката в Токио, когато Дирак и Хайзенберг изнасят своите лекции по време на посещението им в Япония през 1929г. Тази авангардна работа е завършена в Токио, където Томонага е един от десетките хиляди гладувачи граждани, работещи за възстановяването на града, след като към края на войната американските бомбардировачи са го изравнили с лицето на земята.

И така, налице са три версии на квантовата електродинамика, които изглеждат твърде различни, но все пак като че ли водят до еднакви резултати. Тогава Фрийман Дайсън – студентът, който не оставяше Дирак на мира по време на лекциите му в края на войната, пръв показва, че трите теории са варианти на една и съща в основата си теория. Сега най-после физиците могат да претендират, че разбират взаимодействията на фотоните и електроните в рамките на една теория, която е в съответствие с наблюденията до няколко части на десет хиляди – грубо казано, колкото е отношението на дебелината на човешкия косъм към ширината на една врата. Четири десетилетия по-късно, когато значително по-точни експерименти продължават да са в прекрасно съгласие с теорията, Файнман я нарича „скъпоценният камък на физиката”. Както той често подчертава, основните идеи на тази теория са формулирани в теорията на Дирак от 1927г.: по същество Файнман, Шуингър, Томонага и Дайсън развиват съвкупност от хитроумни математически техники и похвати, които правят теорията удобна за работа и показват как да се отстраняват неприятните разходимости.

Много доволен от себе си за това, че е станал „важна персона” в тази област, Дайсън много иска да чуе какво е мнението на Дирак за новата теория. Той очаква да чуе няколко думи на похвала от своя бивш учител, но остава разочарован:

ДАЙСЪН: е, професор Дирак, какво ще кажете за новите насоки в квантовата електродинамика?

ДИРАК: бих могъл да сметна, че новите идеи са правилни, ако те не бяха толкова грозни.

Онова, което Дирак най-силно ненавижда в новата теория, е техниката на пренормиране. Според тази теория наблюдаваната енергия на електрона е сумата от неговата собствена енергия – дължаща се на взаимодействието между електрона и неговото поле, – и голата енергия, която по дефиниция е енергията, притежавана от електрона, когато той е напълно отделен от електромагнитното поле. Но голата енергия е безсмислено понятие, защото в действителност не е възможно да се изключи взаимодействието между електрона и полето; само *наблюдаемата* енергия може да се измерва.

Достоинството на пренормирането е в това, че то позволява при всяка поява на гола енергия в теорията тази гола енергия да бъде заменена с величини, които зависят само от наблюдаваните енергии. Прилагайки тази техника, теоретиците можеха да използват квантовата електродинамика и да пресмятат – с произволна точност – стойността на която и да е величина, измервана по желанието на експериментаторите.

Независимо от успеха на тази техника, Дирак я ненавижда – отчасти защото не знае как да онагледя математиката ѝ, но главно защото чувства, че процесът на пренормиране е изкуствен и некрасив начин фундаментални проблеми на теорията да бъдат подметени под черджето.

От обучението си като инженер Дирак е научил, че добре подобрите приближения трябва да опростяват сложните проблеми на реалността, така че те да подлежат на математически анализ. В лекцията си на тема „Инженерът и физикът” (1980) той подчертава: „Пренебрегнатите членове трябва да са малки и тяхното пренебрегване не трябва да влияе силно върху резултата. Не трябва да се пренебрегват членове, които не са малки”. Пренебрегването на (безкрайно) големи величини в едно уравнение е анатема за един инженер.

Но повечето водещи теоретици обръщат малко внимание на възраженията на Дирак. Както посочва Дайсън, макар че разходимостите в теорията не са елиминирани, те са изолирани в математическите изрази, представящи ефектите, наблюдавани от експериментаторите. Дирак не е убеден. Той заедно с Шрьодингер, Хайзенберг, Паули, Борн и Бор – „старата банда”, както ги нарича Дайсън, – сега са се присъединили към Айнщайн и са се оттеглили в свои собствени светове.

От септември 1947 г. започва най-продуктивната година на Дирак за следващото десетилетие. Заедно със семейството си той е в Принстънския институт за авангардни изследвания. Това е осъществената мечта на Ейбрахам Флекснър за малък академичен институт, фокусиран върху само няколко дисциплини и с работещи в него учени от световна класа, свободни от всякакви административни и преподавателски задължения [1]. За Дирак този институт е същински рай. Особено привлекателен става за него Институтът, след като през 1946 г. директор става Опенхаймер и настойчиво го кани в него.

В Института Дирак работи в скромен кабинет на третия етаж на Флъд Хол 1 в съседство с кабинета на Бор. Една от основните задачи, които Дирак си поставя за своя престой през 1947-8 г., е да разработи теорията на магнитния монопол, която той е започнал още отпреди 16 години. По време на войната той е чул съобщения за откриването на тази частица и макар да се оказват неверни, те вероятно са възобновили интереса му към тази идея. Той развива една извънредно изтънчена теория, в която се предсказва как монополът трябва да взаимодейства с електрически заредени частици. Ефектът обаче е почти нулев. Един от малцината, които внимателно следят развитието на теорията, е Паули, който побързва да възнагради Дирак с един от своите най-любезни прякори, наричайки го „Монополеон”.

В друго свое изследване Дирак се връща към корените на квантовата теория на полето. Недоволен от новата теория на електроните и фотоните, той разглежда по нов начин приложенията на квантовата теория към величини като електрично и магнитно поле, описващи физическите условия във всяка точка на пространство-времето. Това е друга негова работа, която първоначално не събужда интерес, но по-късно бива оценена по достойнство. Същото се отнася за написания от него през 1949г. обзор за

това по какъв начин Айнщайновата специална теория на относителността би могла да се съчетае с Хамилтъновото описание на движението. Измамно простото изложение кара много от физиците да не обърнат сериозно внимание на статията – грешка, за която някои по-късно със съжаление ще си признаят.

Дирак все още вярва, че съвременната квантова електродинамика е грешна, защото се основава върху принципно грешната класическа теория на електроните. Така че през 1951г. той създава нова теория, която много се различава от създадената от него преди тринадесет години. Този път неговата класическа теория описва непрекъснат електричен поток, движещ се подобно на течност – отделните електрони възникват само когато класическата теория е квантувана. Скептицизмът на читателите спрямо тази работа е засилен от факта, че като страничен продукт на своята нова теория на електроните Дирак отново въвежда етера – понятие, което според повечето физици Айнщайн отдавна е отпратил в небитието.

Дираковият етер е съвсем различен от етера на 19-и век: според него всички скорости на етера са еднакво вероятни във всяка точка на пространство-времето. Тъй като този етер няма определена скорост по отношение на останалата материя, той не противоречи на Айнщайновата теория на относителността. Въображението на Дирак се промъква през тази пролука и възстановява етера като фоново квантово възбуждане на вакуума; по-късно той отива още по-далеч, като допуска, че това може да е ‘много лека и фина форма на материята’. Пресата проявява значително по-голям интерес към тази идея, която сякаш не води до никъде, отколкото учените: логиката е безупречна, но тя като че ли няма никаква връзка с природата.

Глава 25

През април 1954 г. Дирак прекарва един месец във Виена, където доведеният му син Габриел е на лечение с психиатрични проблеми. При завръщането си в Кеймбридж той донася новината, разгласена от европейските вестници: американското правителство е отнело на Опенхаймер свидетелството за благонадеждност.

Историята с Опенхаймер е кулминацията на антикомунистическата параноя, заляла Америка през 1950-те години. Тя започва с началото на студената война и се разгаря през лятото на 1949 г., когато Съветският съюз прави първото изпитание на ядрено оръжие – две години по-рано от прогнозата на ЦРУ. Уплашени, че ще загубят технологичното си предимство, американските власти обвиняват комунистическите симпатизанти. Един от първите обвинени е Франк Опенхаймер – братът на Робърт Опенхаймер, известен физик експериментатор, който през 1949 г. е уволнен от университета на Минесота, след като става ясно, че той е с комунистическа членска карта.

През февруари 1950 г. американската общественост с възмущение узнава, че Клаус Фукс – сътрудникът на Дирак и Пайерлс през войната и по-късно член на Манхатънския проект – е признал, че е предавал важни секретни данни на Съветския съюз, с което става ясно неочаквано ранното изпитание на съветското ядрено оръжие. След това признание Дирак и Пайерлс си обясняват странното поведение на Фукс при техните

разговори в задния двор на Кавендиш: той е предавал записки от тези разговори на съветски таен агент.

През юни 1952 г. Сенатът приема Имиграционен закон, който задължава кандидатите за американска виза да заявят всяко свое бившо и настоящо членство в организации, клубове или общества. Дирак, който е планирал да посети Принстънския институт през следващата година, споделя в писмо до Опенхаймер, че не се надява американското правителство да му издаде виза. И действително става така. На 27 май 1955 г. вестниците съобщават, че на Дирак е отказана американска виза и намекуват, че причина за това са руските връзки на Дирак. Реакцията на Дирак е нетипично решителна: той изисква от Британското правителство да бъде освободен от всякакво участие във военната отбрана и прави постъпки за академичен отпуск в Русия.

Плановите за Русия обаче също се провалят и Дирак решава да приеме отдавнашната покана да посети Индия. През октомври 1954 г. Дирак и Манси пристигат в Индия на четиримесечно посещение. Престоят им е организиран от физика Хоми Баба – бивш колега на Дирак в Кеймбридж и директор-основател на института „Тата“ в Бомбай. На лекцията на Дирак, изнесена на игрище за крикет в Барода, близо до Калкута, присъстват хиляди зрители. Дирак говори на прост и ясен език за явленията в субатомния свят, като използва станалото широко известно сравнение с любимата му игра – шаха:

Когато ме питат какво представляват електроните и фотоните, аз отговарям, че този въпрос е безполезен, защото в действителност е безсмислен. Съществено за електроните и фотоните е не какво представляват, а какво е поведението им, как се движат. Това може да се поясни чрез сравнение с играта шах. При шаха имаме различни фигури – царе, царици, офицери, пешки и т.н. Ако попитате какво представлява шахматната фигура, отговорът би бил, че това е фигура от дърво, от слонова кост или просто знак върху хартия. Това няма никакво значение. Всяка шахматна фигура има характерен начин на движение и това единствено е от значение. Цялата игра на шах произтича от начина, по който се движат различните фигури.

Четиридесетминутната лекция на Дирак е посрещната с горещо одобрение от слушателите.

Измежду политиците, с които Дирак се среща в Индия, най-изтъкнат е харизматичният Премиер-министър Джавахарлал Неру, който ръководи Индия от 1947г. – годината, в която тя извоюва независимостта си от Великобритания. По време на срещата им, на 12 януари 1955г., Неру запитва Дирак какви препоръки би дал за бъдещето на новата Индийска република. След обичайната си мълчалива пауза Дирак отговаря: „Общ език, за предпочитане английски. Мир с Пакистан. Метричната система”.

На връщане Дирак научава: починал е Айнщайн. За пръв – и последен – път Манси вижда Дирак да плаче. Сълзите са не за приятеля, а за кумира. За Дирак най-важни са Айнщайновата наука, неговият индивидуализъм, неговото безразличие към ортодоксалността и способността му да пренебрегва нападките на недоброжелателите. След като прахът на Айнщайн е разсеян от ветровете на Ню Джързи, Дирак го наследява

като най-известния самотник в теоретичната физика, застаряващ бунтовник с кауза, която никой друг не може напълно да разбере.

На първата си лекция, която изнася в началото на следващия семестър Дирак казва на студентите: „Току що завърших тази работа. Тя би могла да е важна. Препоръчвам ви добре да я проучите”. Това е извънредно рядък пример, когато Дирак публично обявява перспективността на една тема. В новата теория на Дирак се предполага, че вселената е съставена не от точкоподобни частици, а от малки едномерни обекти, които той нарича „струни”. Тази теория представлява нов подход към квантовата електродинамика, при който е отстранен един от фундаментите на пренормировъчната теория – идеята за „голия електрон”, която Дирак така много ненавижда и според която теорията може да се построи върху фикцията на електрон без околно поле. В новия си подход той се концентрира върху една от основните симетрии на теорията, известна като калибровъчна инвариантност. Отдавна известна на теоретиките, тази симетрия означава, че теорията ще прави едни и същи предсказания, ако величината електромагнитен потенциал, свързана непосредствено с електромагнитното поле, се изменя във всяка точка на пространство-времето, но при условие, че тези изменения се управляват от т.нар. калибровъчна трансформация. с помощта на калибровъчно инвариантни величини. Дирак намира такъв нов начин да построи квантовата електродинамика, че при всички изчисления електронът да остава неотделим от полето. Така той стига до теория, която води до същите резултати като пренормировъчната версия, но без недостатъците на последната.

Дирак до такава степен ненавижда схващането за голи електрони, че иска да изгради теория, в която това схващане не само е *забранено*, но е *немислимо*”. Той намира начин да постигне това, като използва уравненията на своята теория, прилагайки ги към силовите линии на електричното поле на електрона, които приличат на силовите линии на магнит. В класическата картина на електрона частицата е заобиколена от непрекъснато изменящи се силови линии, като всяка съвкупност от силови линии в известен смисъл е безкрайно близка до съседната. Това довежда Дирак до квантова версия на полето и до представата за електрона не като частица, а като струна:

Можем да приемем, че при преминаване към квантова теория силовите линии стават дискретни и разделени една от друга. Сега всяка силова линия се свързва с определено количество електричен заряд. Този заряд ще се появява във всеки край на силовата линия (ако има краища) като в единия край знакът е положителен, а в другия е отрицателен. Естествено е да предположим, че количеството заряд е едно и също за всяка силова линия и е точно равно на големината на електронния заряд. Така вече имаме модел, в който основна физическа същност е силовата линия – нещо като струна, а не частица. Струните ще се движат и ще взаимодействат една с друга по квантови закони.

Дирак намира това, което търси: „модел, в който голият електрон е немислим, защото краят на една струна е немислим без самата струна”. Но това е само зародиш

на идея, а не завършена нова идея. Неколцина негови студенти започват да изучават идеята, но скоро се отказват, както и самият той. Години по-късно ще стане ясно, че Дирак отново е изпреварил своето време.

След като през февруари 1956 г. Никита Хрущов разобличава култа към Сталин и жестокостите на неговия режим, настроенията в Русия се променят и в началото на есента Дирак пристига заедно с Манси в Москва, където се среща със старите си приятели, между които Капица, Там, Фок и Ландау. Любопитно е, че на Дирак е разрешено да се срещне с Там, тъй като последният е ръководител на проекта за построяването на водородна бомба. Ландау, винаги с младежки дух, вече е в предната редица на теоретиките и продължава да демонстрира неуважението си към властимащите (в тоалетната си той заменя ролката тоалетна хартия със страници от Сталиновата автобиография).

Ландау е сред слушателите на изнесените от Дирак лекции в Московския университет. В отговор на молбата да изрази в няколко думи своята философия на физиката, Дирак написва на черната дъска: ФИЗИЧЕСКИТЕ ЗАКОНИ ТРЯБВА ДА ПРИТЕЖАВАТ МАТЕМАТИЧЕСКА КРАСОТА. Пред публика Ландау демонстрира респект спрямо естетизма на Дирак, но в тесен кръг той е остро критичен и веднъж казва на английския физик Брайън Пипард: „Дирак е най-великият от живите физици, но от 1930 г. той не е създал нищо значително”. Това е типично за острите оценки на Ландау. Той обаче става изразител на мнението, което водещите физици от средата на 1950-те години споделят, но не дръзват да го изразят публично.

И все пак събитията ще покажат, че критиците на Дирак са го отписали твърде прибрано.

Глава 26

През една ранна лятна утрин на 1956 г. Паули получава телеграма, в която двама експериментатори от лабораторията в Лос Аламос съобщават, че са открили предсказаната от него частица неутрино. Точно както Паули предвижда, неутриното няма електричен заряд, спинът му е като този на електрона и масата му е нулева. Взаимодействието на неутриното с веществото е извънредно слабо.

Това е триумф за Паули. Но две години по-късно природата показва, че интуицията на Паули относно слабото взаимодействие силно го е подвела. Историята започва в Брукхайвнската лаборатория през 1956 г., когато двамата млади китайски теоретици Ян и Ли предсказват, че при слабите взаимодействия природата нарушава симетрията между ляво и дясно (т.нар. четност) – нещо, в което Паули и почти всички други теоретици трудно могат да повярват. Но в Колумбийския университет на Ню Йорк две групи експериментатори, едната ръководена от агресивно самоуверената китайка У, а другата – от нюйоркския зевзек Ледерман потвърдиха, че Ли и Ян са прави, т.е. при слабите взаимодействия природата наистина прави разлика между ляво и дясно.

Този сензационен резултат възбужда широки научни и обществени кръгове, но за Дирак не е изненада. Той е предвидял възможността четността да бъде нарушена в своя обзор на теорията на относителността от 1949 г. Там той обсъжда дали

квантовомеханичното описание на природата ще остане същото, ако положенията на частиците се преобърнат спрямо ляво и дясно, а също така ако времето тече назад. В заключение той пише: „Не смятам, че съществува някаква необходимост физическите закони да са инвариантни относно тези отражения [в пространството и във времето], макар че всички познати досега точни закони на физиката притежават тази инвариантност».

Никой от водещите физици не си спомня тези думи на Дирак, а и самият той ги е забравил. След 1949 г. той знае, че е възможно да има квантова асиметрия в пространството и времето, но си спомня написаното от него в този обзор едва когато възниква шокът на нарушената четност. На въпросите по този повод той отговаря просто: «Нищо не съм споменал за това в моята книга».

Експериментаторите бяха открили още едно семейство в субатомния зоопарк. Първата лястовица идва през 1946 г., когато Карл Андерсън открива частицата, наречена по-късно мюон. Макар около двеста пъти по-тежка от електрона и нестабилна, в други отношения частицата много прилича на електрона – има същия спин и не усеща силното взаимодействие. Но има една съществена разлика: през 1962г. експериментаторите показаха, че мюонът е свързан със свой собствен вариант на неутрино – различен от този на електрона. Всичките четири частици – електрон, мюон и двете неутрино – нямат съставни части и са членове на семейство, наречено *лепто*ни.

Новите частици не вълнуват Дирак – той все още не се е оправил с фотона и електрона. Но в края на 1961 г. Дирак нарушава своето правило да не се залавя с нови проблеми, преди да е завършил старите, и се опитва да разбере мюона, за който предполага, че е просто възбудено състояние на електрона. Той се отказва от обичайната представа за електрона като точкова частица и го представя като сферичен мехур в електромагнитно поле: «можем да си представяме мюона като електрон, възбуден от радиални осцилации». Дирак описва мехура с помощта на релативистичната теория. Това е изтънчена приложна математика. Но повечето физици отминават с мълчание тази работа, защото в нея се предлага геометричен образ на частица, която обикновено се смята за точкова, а освен това не се отчита нейният спин. А и предсказанията на тази теория не са много убедителни: масата на първото квантово възбуждане възлиза само на четвърт от измерената маса на мюона.

Дирак излага своята теория на «разтегления електрон» пред семинар в Принстънския институт за авангардни изследвания в топлия есенен ден на 16 октомври 1962 г. Час по-късно, след като е завършил семинарът, в 18:30 ч., президентът Кенеди прави спешно правителствено съвещание в Белия дом: СССР строи ракетни бази в Куба, на около 150 км от Флорида, и създава заплаха за САЩ. Шест дена по-късно Кенеди обявява морска блокада на Куба и изисква ракетите да се премахнат. Хрущов отказва да се оттегли.

Напрежението спада на 28 октомври, когато Съветите се съгласяват да изтеглят ракетите в замяна на ред американски концесии.

Бор е жив само колкото да види Кубинската криза. Три седмици по-късно, когато

е у дома, той се оттегля за следобеден сън и умира от сърдечна недостатъчност. В съболезнователно писмо до Маргрет Дирак пише: «Бях силно впечатлен от мъдростта на Нилс не само във физиката, но във всички области на човешката мисъл. Той беше най-мъдрият човек, когото съм познавал, и аз правех всичко възможно да попия част от неговата мъдрост».

Това е един от последните удари на съдбата: Дирак научава за смъртта на близки колеги: Фон Нойман умира през 1957 г., следва го Веблен през 1960 г., а само единадесет месеца преди Бор в дома си във Виена умира Шрьодингер.

През 1962 г. Дирак се готви да навлезе в последния стадий на кариерата си в Кеймбридж. Той си представя, че ще прекара остатъка от живота си в Кеймбридж, ще се занимава с градината си и ще работи в кабинета си. Но Манси има други планове. Тя твърдо е решила да напусне студения и неприветлив Кеймбридж. Дирак се колебае, но накрая се съгласява да емигрира – за предпочитане в САЩ.

Глава 27

През началните седмици на 1969 г. Диракови са в Маями. Измежду американските университети най-съблазнително предложение за назначение прави Университетът на Маями, където работи бившият студент на Дирак – турският теоретик Бехрам Курсуноглу. Той урежда временно назначение на Дирак и прави всичко възможно да го убеди да приеме щатна длъжност. Дирак се колебае – плашат го подтискащата жегла, голямата престъпност и непрестанният шум на Маями. Манси обаче не може да изтърпи и ден повече в Британия – «този невъзможен остров».

През януари 1971г. Дирак приема постоянно назначение в университета на Талахаси, столицата на Флорида. Малко по-рано във физическия факултет на същия университет е получил щатна длъжност съпругът на дъщеря му Мери. Това, че ще бъдат близо до семейството на Мери и че топлият климат ще се отрази благоприятно на все по-засилващия се артрит на Манси, определя решението им да останат да живеят във Флорида.

Глава 28

“Възрастните хора имат слабост към общото и стремеж да видят структурите като цяло. Ето защо възрастните учени толкова често стават философи.” (Ю. Уигнър СПОМЕНИ, 1992)

В началото на 1970-те години Дирак за кратко е оптимист относно своите изследвания върху физиката на елементарните частици. Той е попаднал на начин да описва изолирани елементарни частици с целочислен спин, като използва уравнение, за което е убеден, че притежава особена математическа красота. Нещо повече, то описва само *положителни* енергии – няма ги смущаващите решения с отрицателни енергии. Но се разочарова, след като установява, че е невъзможно с помощта на това уравнение да се описва как частицата взаимодейства с други частици или с поле, т.е. в реалния случай. Математическата красота отново го е подвела.

Тогава Дирак превключва на общата относителност и все още недоказаната хипотеза за големите числа. Той знае, че Айнщайновата теория и хипотезата са несъвместими, тъй като общата относителност изисква – на езика на Нютоновата механика – големината на гравитационната сила между две еднакви маси, разделени на еднакви разстояния, винаги да е една и съща – противно на хипотезата. Затова опитва да ги примири, като използва идеи на немския математик Херман Вайл, чийто подход към теоретичната физика прилича на Дираковия. Вайл казва: „Работата ми винаги е била опит да се обединят истината с красивото, но когато трябва да избирам едно от двете, аз обикновено избирам красивото”. През 1922 г. Вайл създава теория, в която опитва да даде математическо описание на гравитацията и електромагнетизма с помощта на обединена система от уравнения. Запленен от красотата на тези уравнения, Дирак вярва, че подходът на Вайл ще даде такава връзка между общата относителност и хипотезата за големите числа, която би довела до постепенно отслабване на гравитацията с времето.

Помощник на Дирак в това начинание е Леополд Халперн – специалист по обща относителност, който е пристигнал в Талахаси през 1974 – една година, преди да навърши своята петдесета година.

Роден в Австрия, той и семейството му избягват от Хитлеровата инвазия през 1938 г. Работи в няколко европейски научни институти, включително и за известно време при Шрьодингер. Дирак го е срещнал за пръв път на конференция през 1962 г. Този 24-каратов ексцентрик е хомеопат, дипломиран африкански медик, зиме и лете спи под открито небе, отказва да се мие със сапун и нарязва печените картофи с каратистки удари. Тези чудатости дразнят Манси, но допадат на Дирак и двамата стават близки приятели. Често ходят на екскурзии, плуват с кануто на Халперн в езера, пълни със змии и алигатори, като с часове не обменят нито една дума.

През последното десетилетие физиците постигат един велик научен синтез – на слабо, електромагнитно и силно взаимодействия, – наречен с твърде прозаичното име Стандартен модел. Първите важни стъпки в модела са направени от бившият студент на Дирак, Абдус Салам, и от американския теоретик Стивън Уайнбърг, които през 1967 г., независимо един от друг, допускат, че слабото и електромагнитното взаимодействия могат да се опишат по единен начин в термините на особен вид калибровъчна теория, чиято математическа симетрия се нарушава. Няколко години теорията на Уайнбърг – Салам не се приема сериозно, тъй като тя като че ли страда още по-силно от разходимости, отколкото квантовата електродинамика. Това рязко се променя в началото на 1970-те години, когато холандските теоретици ‘т Хуфт и Велтман доказват, че разходимостите в калибровъчните теории могат да се отстранят чрез пренормировка. Почти по същото време теоретиците усъвършенстват разбиранията си за пренормировка и тя става значително по-строга. Макар пренормировката да е широко приета като строго обоснован клон на математическата физика, Дирак отказва да я приеме.

Малко по-късно физиците откриват калибровъчна теория на силните взаимо-

действия, наречена квантова хромодинамика, със същите представи като теорията на Уайнбърг – Салам. Оказа се, че силните взаимодействия между кварките могат да се опишат като обмяна на безмасови частици, които Гел-Ман нарича глюони. Кварките никога не се наблюдават изолирани, тъй като силното взаимодействие не им позволява да се раздалечат, макар че когато са близко разположени, те се държат като свободни. Така че неутронът, открит от Чадуик само преди 30 години, може да се разглежда като милостив затвор за кварки – те не могат да избягат от него, но вътре в него се чувстват свободни.

Променила се е представата за атома, създадена от Ръдърфорд: електрони, обикалящи около малко ядро, съставено от протони и неутрони. В термините на релативистичната квантова теория на полето кварките в ядрото са квантови възбуждания на полето на силните взаимодействия, така както кръжащите електрони са квантови възбуждания на електромагнитното поле. Всичко в атома може да се опише в термините на такива полета.

Макар че е връх в историята на науката, Стандартният модел не вълнува Дирак, който все по-малко следи съвременните публикации. Халперн забелязва, че Дирак се интересува по-малко от новините около полевата теория, отколкото от подновените спорове около Торинския покров, смятан от някои за погребално покривало на Исус Христос.

През пролетта на 1982 г. Дирак и Капица имат шанс да се видят на срещата на Нобеловите лауреати в малкото немско градче Линдау. Капица е поканен, защото вече е Нобелов лауреат по физика за 1978 г., след като Дирак е лобирал за него близо четиридесет години.

На тази среща Дирак за последен път атакува пренормировката. Той няма похвални думи за Стандартния модел и за другите успехи на физиката на елементарните частици. Съвременните теории, казва той, „са съвкупност от инструкции за работа“, но физиците трябва да се върнат към основите и да намерят правилния Хамилтониан.

Той обаче проповядва загубена кауза: физиците вече не работят с хамилтониани, а използват много по-удобни методи. Но публиката го слуша с уважение. Подобно на Айнщайн, този човек не се страхува да оспорва съвременните разбирания и, без да се бои от последствията, твърдо следва собствените си убеждения.

Глава 29

След като преодолява храносмилателния си проблем в края на 1980 г., Дирак се успокоява относно здравето си, но по-късно започват други проблеми, свързани, както се оказва, с туберкулоза на десния бъбрек. В края на 1983 г. той е подложен на операция, която технически е сполучлива, но практически го прави инвалид в количка. Все пак той заедно с Халперн нахвърля черновата на статия, озаглавена „Несъответствията на квантовата теория на полето“, с която за последен път отрича пренормирането – техниката, основана върху един от неговите най-дълбоки приноси в науката.

В началото на април 1984 г. Дирак научава за смъртта на Капица – неговия най-близък приятел и почти като брат. Дирак посреща тази новина със смирено спокойствие. Самият той е така отслабнал, че се налага Манси да наеме медицински сестри за денонощно обслужване. До него най-често е Халперн, който го храни като малко дете и с когото най-често разговарят за Капица.

На 20 октомври, събота вечерта, с Манси и медицинската сестра до леглото, сърцето на Дирак престава да бие.

На 24 октомври, под мрачното октомврийско небе, Дирак е погребан в гробището на Талахаси. Няколко седмици по-късно на белия надгробен камък по искане на Манси е изписано: „Защото Господ рече да бъде така“.

Дирак е бил убеден атеист, но под силния натиск на английските учени и особено на Сър Майкъл Атия, президент на Кралското общество, в Уестминстърското абатство, през 1995 г., е поставена мемориална плоча на Дирак в непосредствено съседство до тези на Нютон и Дарвин. На плочата, след името и годините на раждането и смъртта, е изписано неговото уравнение.

Глава 30

Дирак винаги е отдавал своята извънредна мълчаливост и затвореност в отношенията си с хората на строгия режим в семейството, налаган от баща му. Но има и друго, твърде различно обяснение и то е, че той е бил аутист. Тук, разбира се, трябва да бъдем много внимателни, защото твърде често затворените и необщителни хора са смятани за аутисти. Затова преди всичко трябва да изясним, че диагнозата аутизъм може да се постави, ако човекът от детска възраст е проявявал следните три особености:

1. Слабо развити способности за общуване.
2. Нарушено вербално и невербално общуване, както и забавено усвояване на език.
3. Необикновено тесен репертоар на активност наред с аномално интензивни интереси.

Няма достатъчно сведения за поведението на Дирак в училищна възраст, за да се потвърди диагнозата за аутизъм. Обаче поведението му като възрастен има почти всички черти на аутист: сдържаност, мълчаливост, необщителност, пасивност, отчужденост, склонност да възприема буквалния смисъл на думите, неизменни поведенчески стереотипи, непохватност, самовглъбеност и преди всичко подчертана неспособност да разбира чувствата на другите хора. Тези характеристики лежат в основата на популярните „Диракови истории“, които биха могли също да бъдат наречени „аутистични истории“.

Думата ‘аутизъм’, производна от гръцката дума за „собствен“ („личен“), обхваща широк спектър от характеристики, като се започне от хора с умствена изостаналост до такива като Дирак с особена надареност в една специална област. Такъв необикновен случай беше показан в холивудския филм „Рейнман“, в който актьорът Дъстин Хофман играе ролята на аутист с удивителни способности да пресмята, да помни резултати от бейзболни мачове и телефонни номера.

Според специалистите в Обединеното кралство около половин милион души имат аутизъм в една или друга степен, т.е. почти 1%, като това са предимно мъже. Статистиката показва, че депресията е особено често явление сред аутистите и че близо 20% от децата с аутизъм произнасят на ден по-малко от пет думи. Около един на десет души с аутизъм притежава специфичен талант – например рисуване, работа с компютри, механично запаметяване. Друга характеристика е, че младите хора с аутизъм са особено придирчиви спрямо храната. При последни изследвания с позитронна томография беше установено, че мозъчните центрове, свързани със способността да се разбират чувствата на други хора, са забележимо по-малко активни. Смята се, че за сметка на това такива хора са подчертано силни в разрешаването на математически загадки, разкриването на системни признаци, вникването във функционирането на различни механизми. Предполага се, че изявени учени и математици, включително Нютон и Айнщайн, са имали поне някои признаци на аутизъм.

Дирак е бил особено чувствителен към внезапно възникващи звуци и затова старателно е избягвал места, в които се чува камбанен звън или кучешки лай. Тази свръхчувствителност също е един от признаците на аутизъм. Освен това Дирак е имал образно мислене и винаги е търсел геометрично онагледяване. Това също се смята за признак на аутизъм и обяснява защо Дирак винаги се е затруднявал с алгебричните подходи във физиката. Вероятно това е една от причините той да не приема пренормировката.

Макар да е възможно тази корелация между аутистичното поведение и характера на Дирак да е просто съвпадение, аз смятам, че аутистичните черти са изиграли съществена роля в способността му да систематизира информацията, да си представя нагледно нещата, да се концентрира за дълги периоди от време. Това вероятно не обяснява неговия талант, но помага да се разбере уникалният му начин да възприема света.

Връщайки се към отношенията на Дирак с баща му Чарлз, можем да предположим, че техните отношения са били въпрос не толкова на възпитание, колкото на наследственост. Дълбоко в себе си Дирак е чувствал, че неговата затвореност и мълчаливост едва ли са плод на възпитателните методи на Чарлз, а по-скоро, че той е наследил черти от характера на баща си.

Глава 31

„Дирак казва на студентите физици, да не се тревожат относно смисъла на уравненията, а само за тяхната красота. Този съвет е добър само за онези физици, чийто усет за чисто математическа красота е толкова остър, че те могат да се опират на него, за да прозрат пътя пред себе си. Такива физици не са много – по-скоро такъв е само Дирак.“ (СТИВЪН УАЙНБЪРГ. Сесия по случай стогодишнината от рождението на Дирак, Бристолски университет, 8 август 2002)

Няма учен – даже най-изтъкнатият, – който да е незаменим за науката. Макар че

някои най-вдъхновени личности за кратък срок повлияват върху нея, тяхното отсъствие едва ли би й повлияло в по-дългосрочна перспектива. Ако Мария Кюри или Александър Флеминг не бяха се родили, радиат и пеницилинът щяха да бъдат открити скоро след датите, познати от учебниците.

Всеки учен може обаче да се надява, че потомството ще го/я оцени за това, че е открил нещо повече от някакъв типичен секрет на природата. По този критерий няма съмнение, че Дирак е велик учен – един от малцината, които заслужават място непосредствено под Айнщайн в пантеона на съвременните физици. Наред с Хайзенберг, Йордан, Паули, Шрьодингер и Борн, Дирак е един от групата теоретици, които откриха квантовата механика. Все пак неговият принос е по-особен. В годините на своя творчески апогей, между 1925 и 1933 г., той създава неповторимо ясна картина за развитието на един нов раздел в науката: книгата на природата вероятно често е била разтворена пред него. Ето как Фриман Дайсън резюмира онова, което прави творчеството на Дирак така необикновено:

Основополагащите публикации на другите квантови первооткриватели бяха поразхвърляни, не бяха така идеално завършени като тези на Дирак. Неговите големи открития бяха като изящно оформени мраморни статуи, падащи от небето една след друга. Изглеждаше така, като че ли той е способен да извлече природните закони от чистата мисъл. Именно тази чистота го правеше уникален. (Интервю с Фр.Дайсън, 27 юни, 2005)

Книгата на Дирак „Принципи на квантовата механика“ е една от тези статуи. Дайсън посочва: „Той представя квантовата механика като произведение на изкуството – завършено и полирано“. От времето на първото й отпечатване книгата остава най-проникновеното и стилно въведение в квантовата механика и все още е мощен източник на вдъхновение за най-способните млади физици теоретици. Никой друг учебник не представя теорията с такова изящество и с такава неумолима логика – качество на Дирак, особено подчертано от Рудолф Пайерлс през 1972 г.: „Дирак има свой специфичен начин за логическо мислене... праволинейно, докато всички ние сме склонни да се отклоняваме по крива. Именно това абсолютно праволинейно мислене в неочаквани за нас пътища прави неговите работи така специфични.“

Повечето млади физици обаче се интересуват не от вътрешната логика на квантовата механика, а от прилагането на теорията като начин за постигане на бързи и надеждни резултати. По същество учените получават напълно надежден инструментариум за описване на атомния и молекулния свят. Ежедневно десетки хиляди изследователи в микроелектронната промишленост рутинно използват техниката, разработена от Дирак и неговите колеги; идеите, за чието изясняване са били необходими години, днес се използват, без никой да се замисля за трудностите, които техните създатели е трябвало да преодоляват.

Съвременната тенденция за миниатюризация прави квантовата механика още по-важна. В разрастващата се област на ултраминиатюрната технология, обикно-

вено наричана *нанотехнология*, квантовата механика е абсолютно необходима. В един клон на тази технология – т.нар. *спинтроника* (електроника, основана върху спина) – инженерите се опитват да развиват нови устройства, в които се използва не потокът на електронните заряди, както е при обичайната електроника, а заедно с това и потокът на електронните *спинове*. Тъй като последните могат да преминават от едно в друго състояние значително по-бързо, отколкото се придвижват зарядите, спинтронните устройства ще функционират значително по-бързо от конвенционалните, а заедно с това ще създават по-малко топлина. Инженерите се надяват да създадат основан върху спина транзистор, който да замени обичайните транзистори в запаметяващите и в логическите вериги, което би направило възможно да се отиде още по-нататък в създаването на компактни компютри, отвъд достъпните в днешно време граници.

Напълно възможно е след повече от столетие, откакто Дирак въвежда спина в логическата структура на квантовата механика, неговото уравнение, на което някога се е гледало като на математически йероглиф без никакво отношение към всекидневното, да се превърне в теоретична основа на промишленост с производство за много милиарди долари.

Големите мислители винаги са продуктивни след смъртта си. Според този критерий Дирак може да бъде смятан за един от най-великите измежду всички учени – много от неговите идеи все още са или в процес на развитие, или играят съществена роля в съвременното мислене. Така например уравнението на Дирак все още е плодотворен източник на идеи за математиците, които много отдавна хранят интерес към спинорите – математическите обекти, въведени за пръв път в това уравнение. По думите на Сър Майкъл Атия [2]:

Никой не разбира спинорите напълно. Тяхната алгебра е формално разбрана, но геометричното им значение е загадка. В известен смисъл те описват „квадратния корен” от геометрията и точно както за разбирането на идеята за квадратен корен от -1 са били нужни столетия, същото може да се окаже вярно за спинорите.

Влиянието на Дирак се чувства най-силно от учените, които изучават най-малките градивни елементи на вселената. Експериментаторите днес могат да сблъскват частиците при такива високи енергии, че даже Ръдърфорд би останал изненадан. На Големия адронен колайдър, огромния ускорител на частици в CERN, могат да се възпроизведат условията във вселената, каквито са били една билионна част от секундата след започването на времето. При създаването в този и други ускорители сблъсъци на субатомни частици обичайно нещо е експериментаторите да наблюдават създаването и унищожаването на субатомни частици – процеси, които могат да се обяснят само с помощта на релативистичната квантова теория на полето. Навсякъде в тази теория се усеща ръката на Дирак – той е един от откривателите и автор на формулировката на квантовата механика въз основа на принципа на действието – формулировка, която играе определяща роля в съвременните разбирания за полетата.

През последните двадесет и пет години разликата между достижимите в ускорителите енергии на частиците и енергиите, необходими за проверката на последните теории, застрашително расте. Построяването на нужните за тази цел ускорители става все по-трудно и все по-скъпо. Едно от следствията от това е, че теорията на субатомните частици изпревари много получаваните експериментални данни, в резултат на което се стигна до сценария, предвидян от Дирак в неговата пътеводна статия от 1931 г., в която той предсказва, че главните насоки в развитието на теоретичната физика ще се задават по-скоро от математиката, а не от експеримента. Един от физиците, които повярваха на това предвиждане, беше Ян Чъннин: на конференция в Принстън през 1979 г., в която участват и двамата, Ян посочва, че с тази идея Дирак е попаднал на една „голяма истина”. В същата статия от 1931 г. Дирак предвижда съществуването на анти-електрон и на анти-протон, а също развива квантова теория на магнитните монополи, като прилага геометричен подход, оказал влияние върху цели поколения теоретици. Тъй като експериментаторите не успяха да наблюдават монополите, Дирак разглежда това предсказание като още едно разочарование и умира, предполагайки, че монополите навярно не съществуват в природата. Днес обаче мнозина физици смятат другояче, тъй като монополите се предсказват от някои прости обобщения на Стандартния модел („съвременният” монопол е математически по-добре определен в сравнение с Дираковия). Нещо повече, според космолозите монополите трябва да са били създадени по време на Големия взрив в големи количества и трябва да са наблюдаеми; а това, че засега не са, е известно като „монополен проблем”.

Дирак е оставил следа в няколко други области освен квантовата механика. Един от най-нетипичните му приноси е изобретеният от него метод за разделяне на различни изотопи на един химически елемент. Той развива метода по време на Втората световна война, но идеята е изглеждала неприложима и скоро бива забравена само за да бъде преоткрита тридесет години по-късно от инженери в Германия и в ЮАР. Методът все още не обещава икономически предимства, но разработката на нови свръхздрави материали може да го направи перспективен за ядрената промишленост.

Друга от по-малко характерните за Дирак разработки е изследването заедно с Капица през 1933 г. на вълновата и корпускуларната природа на електроните. Съвременното развитие на лазерната технология създаде нови възможности за изучаването на ефекта на Капица – Дирак – дифракцията (закривяването) на тесен електронен сноп от стояща светлинна вълна. Самите Капица и Дирак са обсъждали новите възможности на заключителното събиране на Капица клуба през 1966 г. Няколко групи са опитвали да наблюдават ефекта, но никоя няма успех, докато през пролетта на 2001 г. група в университета на Небраска успява да го демонстрира с помощта на мощен лазер и тесен сноп електрони, като използват апаратура, която би се поместила върху обикновена маса за хранене. Сега ефектът на Капица – Дирак се използва

като фин инструмент за изследване на вълновото и корпускуларното поведение на електроните и на светлината.

Дираково наследство има също така в общата теория на относителността, макар че то далеч не е съизмеримо с таланта му. Загадка е, че той така малко се интересува от направеното от Опенхаймер и неговите колеги през 1939г. откритие, че Айнщайновата теория предсказва съществуването на черни дупки – обекти с толкова силно гравитационно поле, че даже светлината не може да се изскубне от него. В своя най-значителен принос към теорията на относителността той се опира на аналогията с неговата любима Хамилтънова версия на квантовата механика и разработва съответната математическа техника (подобно нещо правят и други физици по горе-долу същото време). Тези методи се оказват полезни за астрономите, които изследват близко разположени двойки въртящи се една около друга неутронни звезди (обикновено наричани пулсари), които бавно губят от енергията си. Тази постепенна загуба на енергия може лесно да се обясни с Айнщайновата обща теория на относителността и конкретно по развитите от Дирак методи: пулсарите излъчват гравитационна радиация по същия начин, по който ускоряващи се електрони излъчват електромагнитна радиация. Изучаването на гравитационните вълни сега е една от най-перспективните области в астрономията.

Интуицията на Дирак за механизмите на вселената не е така силна, както е била, когато той се концентрира върху атомите. Не може обаче да му се отрече проникателността, с която той анализира състоянието на космологията в лекция, произнесена малко преди избухването на Втората световна война, когато тази област е още в своята детска възраст. В поредица от кратки бележки той прави вдъхновеното предположение, че сложната структура на всичко около нас има своите зародиши в квантова флукутация, възникнала в началното състояние на вселената. „Новата космология”, предсказва Дирак, „вероятно ще се окаже идейно даже по-революционна от теорията на относителността и квантовата теория”, с което той предвижда съвременния възход на космологията, в която прецизните наблюдения на някои от най-далечните обекти във вселената проливат светлина върху природата на реалността, природата на материята и върху най-авангардните квантови теории. По мнението на Натан Сийбърг, колега на Дайсън в Принстънския институт за авангардни изследвания, „лекцията би била също толкова впечатляваща, ако беше произнесена не през 1939, а през 1999 г.”.

Макар че Дирак в края на живота си е твърде съдържан относно своята хипотеза за големите числа, той винаги е вярвал в нея. Съвременният възглед за големите числа, който го привлича в продължение на десетилетия, се състои в това, че само едно от тях е загадка: отношението между силата на електричното взаимодействие и тази на гравитационното привличане между електрона и протона (10^{39}). Основният проблем е да се разбере защо гравитационната сила е така малка в сравнение с останалите фундаментални сили. Всичките други числа, които озадачават Дирак, вече следват от

стандартната теория на космологията, така че няма нужда да се гадае относно връзките между тях – посочените от него съвпадения са илюзорни.

Дирак е убеден, че големината на гравитационната сила е намаляла, откакто е започнало времето, и той полага много усилия през последните си години, за да докаже това, макар че астрономичните наблюдения на близките планети в слънчевата система не го потвърждават. Макар че все още е възможно интуицията на Дирак да се окаже вярна, този въпрос в днешно време почти не е застъпен в изследователската програма. Един учен, който винаги е бил твърдо убеден, че Дирак е прав, е Леополд Халперн, който през 2004г. напуска щатския университет на Флорида и в университета на Станфорд разработва спътникова експериментална програма, осъществявана от NASA и Станфордския университет, целяща да подложи на проверка някои от неизучените предсказания на Айнщайновата обща теория на относителността. Халперн очаква да сравни предсказанията на своята теория със спътниковите наблюдения, но не успява да завърши работата си, тъй като умира от рак през юни 2006 г.

Независимо от това как предсказанията на Дирак относно гравитационната сила ще се осъществят в бъдеще, неговото име винаги ще се свързва с ролята на антивеществото при възникването на вселената. Съгласно съвременната теория на Големия взрив в самото начало на вселената, преди около 13,7 милиарда години, материята и антиматерията са се появили в точно еднакви количества. Малко след това разпадането на някои от тежките частици, образувани от кварки и антикварки, довежда до малко, но решаващо предимство на материята спрямо антиматерията – само с една част на един милиард. Първият учен, който подробно анализира тази разлика, е Андрей Сахаров, ученик на Там и по-късно храбър защитник на човешките права в Съветския съюз. През 1967г. Сахаров обсъжда как този малък излишък възниква и защо вселената остава с огромното предимство на материята. Без този дисбаланс образувалите се в началото на времето материя и антиматерия биха се анихилирали взаимно веднага, така че цялата вселена би просъществувала само като краткотрайна баня от високоенергетична светлина. В този случай материята никога не би имала възможността да открие антиматерията. Излишъкът на материя спрямо антиматерия в началото на вселената все още не е обяснен и стотици учени се опитват да намерят отговора. Техните главни източници на експериментална информация са ускорителите на елементарни частици, в които антиматерията се получава при взаимните сблъсъци на обикновени частици, след което антиматерията бързо бива „изолирана”, преди да е анихилирала с материята. Като сравняват разпадите на частици с тези на съответните античастици, експериментаторите се надяват да стигнат до обяснението на дисбаланса между материя и антиматерия.

В днешно време ускорителите генерират около сто хиляди милиарда позитрони и пет хиляди милиарда антипротони – общо близо една милиардна от грама. Макар че това е твърде малко количество, то все пак показва, че днешният *Homo sapiens* – близо милион години, след като нашият вид е еволюирал, – вече е в състояние да използва

антиматерията като инструмент. В днешно време позитроните се генерират рутинно в масово произвеждани устройства навсякъде по света: лекарите използват позитронната томография, за да надникват в мозъците и в сърцата на пациентите, без да прибегват до оперативна намеса. Техниката е проста: на пациента се инжектира малко количество специален радиоактивен препарат, който излъчва позитрони, а те взаимодействат с електроните в тъканта, в която е вкаран препаратът. Снимката регистрира излъчването, създадено от електрон-позитронната аниhilация.

От нещо екзотично и близко до фикция антиматерията се превърна в част от ежедневието. Но най-забележителното в тази история е това, че човекът за пръв път разбра и възприе антиматерията не посредством зрение, слух, обоняние или осезание, а единствено благодарение на теоретичните разсъждения и изводи на Дирак.

Подобно на Айнщайн, Дирак непрестанно търси обобщенията – теориите, които обясняват все повече аспекти на вселената посредством все по-малко на брой принципи. Също така и двамата вярват, че най-добрият начин да се постигне това са теориите, формулирани посредством красиви уравнения. Като физик Дирак обилно ползва услугите на математиката и съвсем откровено признава това в своя записка от 1975 г.:

Ако ти си възприемчив и смирен, математиката ще те води за ръка. Винаги, когато съм се чудел как да продължавам, отново и отново е трябвало да изчакам, докато това се случи. Тя ме водеше по неочаквана пътека – пътека, която извежда до неочаквани хоризонти, до нова територия, в която може да се създаде основа за действия, да се огледат околностите и да се планират бъдещите действия.

Макар никога да не е признавал публично, направляващата ръка на красотата е водела Дирак не само към някои плодородни земи, но също към пустини, където нищо не се ражда. В своите лекции той е посланик на красотата, който многократно подчертава триумфалните постижения на теориите с такова качество, но не споменава годините, през които напразно е опитвал да използва нагледна математика за описанието на природата. Любопитно е, че той изтъква принципа на математическата красота едва няколко години след като е направил своите най-хубави работи, което ни кара да мислим, че при ретроспекция на най-големите си открития Дирак ги представя като успехи на неговата вяра в принципа на естетизма. В своите авангардни статии по квантова механика той никога не казва експлицитно, че негово ръководно начало е красотата; спомня си за нейното значение само в спокойствието на своите най-малко продуктивни години.

Дирак за пръв път дава да се разбере, че използва принципа на математическата красота едва в края на 1940-те години, когато отхвърля пренормираната теория на фотоните и електроните със съображението, че тя е твърде грозна. Той обаче не съумява да използва своя принцип конструктивно и да построи нови теории. Поради това би могло да се твърди, че Дираковата страст за красота до известна степен е била

деструктивна; той обаче не е знаел друг път – темпераментът не му е позволявал да се фокусира върху друг проблем от физиката на елементарните частици, докато не намери истински красива теория на електроните и фотоните, свободна от загрозяващите я разходимости.

Исходът от този предполагаем недостатък на квантовата теория на полето се появява, за жалост, твърде късно за него: една особено перспективна, свободна от разходимости теория на електроните и фотоните започна да се разпространява сред теоретичите през есента на 1984 г., когато Дирак вече е на смъртно легло. Майкъл Грийн, от Лондонския университет, и Джон Шуорц, от Калтех, бяха публикували забележителна статия, която показва, че струнната теория би могла да формира основата на една обединена теория на фундаменталните взаимодействия. Преди това съществуваше впечатлението, че според тази теория слабите взаимодействия трябва да притежават идеална огледална симетрия на ляво и дясно – противно на експерименталните данни. Като доказаха, че теорията може по естествен начин да описва *нарушението* на тази симетрия, и като се справяха с други смущаващи аномалии на теорията, Грийн и Шуорц направиха революция. В рамките на седмици струнната теория стана най-горещата проблематика в теоретичната физика. Макар че теорията беше далеч от завършеност – фактически тя беше сбор от зачатъчни идеи, всяка от които се нуждаеше от допълнителна разработка, – имаше сериозни признаци, че в нея се съдържат зародишите на перспективна нова конструкция, даваща единно описание на всички фундаментални взаимодействия и включваща Стандартния модел и Айнщайновата обща относителност.

Новата теория описва природата не в термините на точковидни частици, а на части от струна, които са толкова малки, че при подреждането им в линия ще са нужни милиард милиарди от тях, за да се обхване едно атомно ядро. В тази картина на фундаменталните съставни части на вселената съществува само една фундаментална същност – струната – и всеки вид частица, включително електронът и фотонът, представлява само възбуждане на струната, аналогично на вибрациите на камертон. Математиката на тази теория е страшна, но под нейните сложности тя представлява съвременна версия на стремежа за обединено описание на всички фундаментални взаимодействия.

Онова, което със сигурност би впечатлило Дирак, е, че в съвременната струнна теория не възникват толкова ненавижданите от него разходимости. Той вероятно би се наслаждавал на математическата красота на тази теория, която доставя удоволствие не само на физиците, които работят с нея, но също така на много математици, които изровиха от нея нови идеи. Оказа се, че струнната теория, до голяма степен подобно на уравнението на Дирак, е плодотворен източник на чисто математически идеи, които са ценни сами по себе си, а не само като инструменти за разбиране на природата. Дирак често е казвал, че теориите го интересуват само като средства за описание на природата, но той вероятно би бил заинтригуван да разбере, че в сърцевината на струнната

теория се намира математика, известна като комплексна проективна геометрия, която представлява обобщение на любимия му клон на геометрията.

Никой не е направил повече за изясняването на струнната теория от математика физик Едуард Уитън, от Института за авангардни изследвания. През 1981 г., когато е лектор на лятната школа в Ериче, тридесетгодишният Уитън за кратко се среща с Дирак и чува познатия му упрек към пренормировките, но предпочита да не следва неговия съвет. Дирак обаче следи публикациите на Уитън и през 1982 г. написва, с вече трепереща ръка, до Папската академия в подкрепа на предложението за специална награда на Уитън, като нарича неговите математически постижения „блестящи”. От началото на 1980-те години репутацията на Уитън сред струнните теоретици е съизмерима с тази на Дирак сред квантовите теоретици половин век по-рано.

Уитън вярва, че струнната теория е от вида на теорията, която Дирак си е представял, когато твърдял, че е необходима революция, за да бъде създадена нова теория, която да е свободна от разходимости и за която поради това не е необходима пренормировка:

В известен смисъл реакцията на Дирак спрямо пренормировките получи своята реабилитация, доколкото теориите, които той смяташе за по-добри, в крайна сметка бяха развити с възникването на струнната теория. Но до този момент най-значителният прогрес по пътя към новата теория беше постигнат от физиците, които прилагаха и изследваха пренормировките. Така че от гледна точка на Дирак резултатът беше нещо като горчиво-сладък: той беше отчасти прав, но подходът му не беше достатъчно прагматичен. [Интервю с Е. Уитън, юли 2005]

Трудно е да не се съгласим с тази тактично формулирана преценка на Дираковото принципно, но контрапродуктивно отношение към пренормировките. Може би, ако беше обръщал повече внимание на квантовата теория на полето, тя би напреднала по-бързо и съвременната струнна теория по-скоро би стигнала до успешен край.

Макар че струнната теория е единственият силен кандидат за обединена теория на фундаменталните взаимодействия, далеч не всички теоретици вярват в нея. Значителен брой физици се тревожат от това, че теорията има смисъл само в повечестроно от четиримерно пространство-време (най-лесно е тя да бъде формулирана в десет или даже в единадесетмерно пространство). Още по-тревожен е фактът, че тя получава твърде малка подкрепа от страна на експеримента – струнната теория все още не е формулирала ясно предсказание, което експериментът да може да провери [3]. Един от най-изразителните скептици е първопроходецът на Стандартния модел Мартинус Велтман [4], според когото „струнната теория е идол на суеверни хора, който няма нищо общо с експеримента”.

Но от многократно повтаряните коментари на Дирак на неговите лекции за пътя, по който да се развива теоретичната физика, става ясно, че той не би се съгласил с тази критика и би посъветвал струнните теоретици да се оставят красотата на теорията да ги води за ръка и да не се безпокоят от липсата на експериментална поддръжка, нито да се обезкуражават, ако няколко наблюдения създават впечатление, че опровергават

теорията. Но той също така би посъветвал струнните теоретици да бъдат смирени, да бъдат с отворен ум и никога да не допускат, че са близо до края на фундаменталната физика. Ако миналият опит трябва да се изостави, в крайна сметка ще последва друга революция.

И ето какъв съвет дава на своите колеги този толкова неемоционален човек: нека преди всичко да ви ръководят вашите чувства.



Бележки на преводача

1. Виж бележки на преводача 1,2 към част III (СФ 3/11)
2. М. Атия (M. Atiyah) – английски математик (роден 1929 г. в Лондон). Трудове по алгебрична топология. Премия „Дж. Фийлдс” (1966).
3. Подробно относно скептичната оценка за струнната теория виж рубриката *Четиво с продължение* в „Светът на физиката” № 1-4 (2010), откъси от книгата на Питър Войт „Не е даже погрешна”.
4. Нобелов лауреат по физика за 1999 г. „за изясняване квантовата структура на електро-слабите взаимодействия”.

(Graham Farmelo. **THE STRANGEST MAN** – *The Hidden Life of Paul Dirac, Quantum Genius*. **faber and faber**, London, 2009).
Подбор и превод (със съкращения): **М. Бушев**

АНТИ-НОБЕЛОВИ НАГРАДИ

М. Замфиров

Тазгодишните Анти-Нобелови награди бяха раздадени на церемония в Харвард Сандърс Тиътър на 29 септември.

Анти-Нобеловата награда за физика получава международен екип от учени (Филип Перен, Сирил Перо, Доминик Девитер и Бруно Рагару, Франция и Херман Кингма от Холандия), които отговорили на въпроса защо състезателите, които хвърлят диск, получават замайване, а онези, които хвърлят чук, не получават. Оказало се, че хвъргачите на чук съсредоточват погледа си в една точка, а хвъргачите на диск не го правят.

Източник: „Dizziness in Disc Throwers is Related to Motion Sickness Generated While Spinning,” Philippe Perrin, Cyril Perrot, Dominique Deviterne, Bruno Ragaru and Herman Kingma, *Acta Oto-laryngologica*, vol. 120, no. 3, March 2000, pp. 390–5.

Анти-Нобеловата награда за химия взима група японски учени (Макото Имаи, Наоки Урушихата, Хидеки Танемура, Юкинобу Таджима, Хидеаки Гото, Коичиро Мизогучи и Юничи Мураками), които определили идеалната плътност на носеното от вятъра усаби (силно лют хрян). Това знание позволява изобретяването на противопожарна аларма с усаби, която ще буди спящи хора в случай на пожар.

Източник: US patent application 2010/0308995 A1. Filing date: Feb 5, 2009.

Анти-Нобеловата награда за биология взеха Дарил Гуайн и Дейвид Ренц, които са направили необичайно проучване върху вид австралийски бръмбари (*Julodimorpha bakewellii*). Те открили, че даден вид бръмбари се чифтосват с бутилки от определен вид австралийска бира.

При това бръмбарите толкова се съсредоточват в усилията си да се чифтосат с бутилките, че или умират на силното слънце, или биват изядени от изгладнели мравки, или се налага учените да ги махнат физически от бутилките.

Източник: „Beetles on the Bottle: Male Buprestids Mistake Stubbies for Females (Coleoptera),“ D.T. Gwynne, and D.C.F. Rentz, *Journal of the Australian Entomological Society*, vol. 22, , no. 1, 1983, pp. 79-80 и „Beetles on the Bottle,” D.T. Gwynne and D.C.F. Rentz, *Antenna: Proceedings (A) of the Royal Entomological Society London*, vol. 8, no. 3, 1984, pp. 116-7.

Анти-Нобеловата награда за математика отива при Дороти Мартин от САЩ (която предсказва, че краят на света ще е през 1954 г.), Пат Робъртсън от САЩ (която предсказва, че краят на света ще е през 1982 г.), Елизабет Профит (която предсказва, че краят на света ще е през 1990 г.), Лий Янг Рим от Южна Корея (предсказва, че краят на света ще е през 1992 г.), Кредония Муеринде от Уганда (предсказва, че краят на света ще е през 1999 г.), Харолд Кемпинг от САЩ (който предсказва, че краят на света ще е на 6 септември 1994 г., а по-късно предсказва, че това ще се случи на 21 октомври 2011).

Наградата им се дава за това, че са помогнали на хората да се научат да бъдат внимателни, когато правят математически изчисления и предположения.

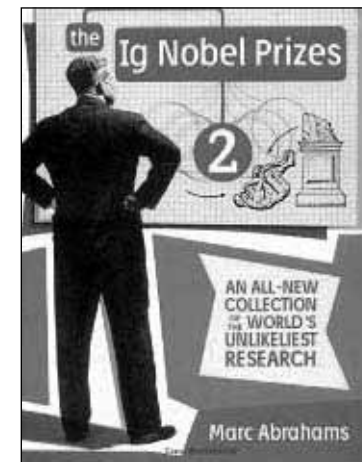
Анти-Нобеловата награда за физиология грабнаха Анна Уилкинсън от САЩ, Натали Себанз (Холандия, Унгария и Австрия), Изабела Мандл (Австрия) и Людвиг Хубер (Австрия), които установили, че липсват каквито и да е било доказателства, че червенокраките костенурки се поддават на заразително прозяване.

Източник: „No Evidence Of Contagious Yawning in the Red-Footed Tortoise *Geochelone carbonaria*,“ Anna Wilkinson, Natalie Sebanz, Isabella Mandl, Ludwig Huber, *Current Zoology*, vol. 57, no. 4, 2011. pp. 477-84.

Анти-Нобеловата награда за медицина отива при Мириам Тук (Холандия и Великобритания), Дебра Тремп (Холандия) и Люк Варлоп (Белгия) заедно с Матю Люис, Питър Снайдер и Робърт Фелдман (САЩ), Робърт Пиетрзак, Дейвид Дерби и Пол Маруф (Австралия) за това, че демонстрират как хората взимат по-добри решения за дадени неща, но по-лоши решения за други неща, когато изпитват силна нужда да уринират.

Източник: „Inhibitory Spillover: Increased Urination Urgency Facilitates Impulse Control in Unrelated Domains,” Mirjam A. Tuk, Debra Trampe and Luk Warlop, *Psychological Science*, vol. 22, no. 5, May 2011, pp. 627-633 и „The Effect of Acute Increase in Urge to Void on Cognitive Function in Healthy Adults,” Matthew S. Lewis, Peter J. Snyder, Robert H. Pietrzak, David Darby, Robert A. Feldman, Paul T. Maruff, *Neurology and Urodynamics*, vol. 30, no. 1, January 2011, pp. 183-7.

Анти-Нобеловата награда за литература взе Джон Пери от Станфордския универси-



тет (САЩ) за своята Теория на структурното отлагане, която твърди, че за да имаш високи постижения винаги работи върху нещо важно, като го използваш за начин да избегнеш вършенето на нещо още по-важно.

Източник: „How to Procrastinate and Still Get Things Done,” John Perry, Chronicle of Higher Education, February 23, 1996. Later republished elsewhere under the title „Structured Procrastination.”

Анти-Нобеловата награда за обществена безопасност получи Джон Сендърс от университета в Торонто (Канада), който е направил серия от опити по безопасност, в които човек кара автомобил по главна магистрала, докато на главата му има козирка, която непрекъснато пада върху лицето му и му пречи на видимостта.

Източник: „The Attentional Demand of Automobile Driving,” John W. Senders, et al., Highway Research Record, vol. 195, 1967, pp. 15-33.

Анти-Нобеловата награда за психология взе Карл Халвър Тейгън от университета в Осло (Норвегия) за опитите си да разбере защо хората въздишат в ежедневието си.

Източник: „Is a Sigh „Just a Sigh“? Sighs as Emotional Signals and Responses to a Difficult Task,” Karl Halvor Teigen, Scandinavian Journal of Psychology, vol. 49, no. 1, 2008, pp. 49–57.

Анти-Нобеловата награда за мир заслужено отиде при Артурас Зуокъс (кмет на Вилнюс, Литва), за демонстриране на това, че проблемът с незаконно паркираните луксозни коли може да бъде решен, като бъдат прегазени с брониран танк.

Присъединете се към групата на списанието във facebook –
<http://bg-bg.facebook.com/people/Списание-Светът-на-Физиката/100000755959723>
 за да научавате веднага новините, свързани с физиката

СЪДЪРЖАНИЕ НА ТОМ XXXIV

НОБЕЛОВА НАГРАДА 2011

НАУКАТА

- Д. Динев – Десетте най-важни постижения във физиката за 2010 според Physics World
- Д. Динев – Гигантските морски вълни-убийци: факти и хипотези
- Д. Динев – „Екстремна светлина” над Чехия, Унгария и Румъния
- М.Бушев – Цунами
- М.Н.Дубинин, А.Н.Никитенко – Бозоните на Хигс и обединяването на взаимодействията
- Е. З. Мейлихов – Трагичният и щастлив живот на Ърнест Изинг
- О. Максименко – Огледалната материя
- Ю. Александров, Я. Тарароев – Относно възможността за трета революция в астрономията
- Ф. Авурис – Електроника и фотоника на въглеродните нанотръби
- М. Бушев – Сто години свръхпроводимост
- Т. Маскава – Нобелова лекция: За какво ни говори нарушението на CP-симетрията?

ИСТОРИЯ

- Н. Балабанов – Живот, отдаден на науката и завършил със „завидна смърт”
- М. Замфиров, Н. Вучков – Нека бъде монохроматична, кохерентна и насочена светлина
- М. Замфиров, Н. Вучков – нека бъде монохроматична, кохерентна и насочена светлина – II

CONTENTS OF VOL. XXXIV

NOBEL PRIZES 2011393

THE SCIENCE

- D. Dinev – The ten most important achievements in Physics for 2010 according to Physics World 1
- D. Dinev – The giant sea killer waves: facts and hypotheses 12
- D. Dinev – „Extreme light” in Czech Republic, Hungary and Romania 129
- M. Bushev – Tsunami 136
- M. N. Dubinin, A.N. Nikitenko – Higgs bosons and the unification of the interactions..... 146
- E. Maylihov – The tragic and happy life of Ernest Izing261
- O. Maximenko – The mirror matter.....273
- Yu. Alexandrov, Ya. Tararoev – Regarding the possibility of a third revolution in astronomy.....283
- P. Avouris – Carbon nanotube electronics and photonics393
- M. Bushev – 100 years superconductivity.....396
- T. Maskawa – Nobel lecture: What Does CP Violation Tell US?410

HISTORY

- N. Balabanov – Life dedicated to the science and ended with an “enviable death”22
- M. Zamfirov, N. Vuchkov – Let there be intense monochromatic beam of coherent light.32
- M. Zamfirov, N. Vuchkov – Let there be intense monochromatic beam of coherent light – II 160

- Н. Балабанов – Методът на Ръдърфорд – методология на ядрената физика”
- И. Тодоров – Паскуал Йордан – забравен създател на квантовата теория
- Х. Нусбаумър, Л. Биери – Кой откри разширяващата се вселена?

ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА

- Фр. Дайсън – Птици и жаби

НАУКА И ОБЩЕСТВО

- М. Бюканан –
В търсене на черните лебеди
- М. Гел-Ман – Някои поуки от едно шейсетгодишно теоретизиране
- Из обръщението на президента Обама към 112 конгрес на САЩ (25 януари 2011)
- В. Степин – Наука и лъженаука
- А. Илков – Дайсън, Вентър и Съселов
- Фр. Дайсън – Когато науката и поезията бяха приятели
- А. Бърк – Изграждане на бъдещите столици на знанието
- С. Г. Кара-Мурза – Социалните функции на науката в условия на криза
- В. Василев – Моята красива наука

ФИЗИКА И МЕТАФИЗИКА

- В. Визгин – Експеримент и чудо

ФИЗИКА И ОБЩЕСТВО

- Д. Динев – Българската академия на науките – to be or not to be
- Фр. Уилчек – Дълбока простота
- А. Зевайл – Как да управляваме правенето на научни открития?
- П. Фройнд – Страст за откривателство
- А. Абът и др. – Трябва ли да се доверяваме на количествените оценки на научно-изследователската дейност?

- N. Balabanov – The Rutherford method – methodology of nuclear physics298
- I. Todorov – Pascual Jordan – Forgotten creator of quantum theory438
- H. Nussbaumer, L. Bieri – Who discovered the expanding universe?.....459

PHYSICS AND MATHEMATICS

- Fr. Dyson – Birds and frogs42

SCIENCE AND SOCIETY

- M. Buchanan – In search of the black swans63
- M. Gell-Mann – Some lessons from sixty years of theorizing.....302
- From the Obama speech at the 112-th U.S. Congress (January 25, 2011).....308
- V. Stepin – Science and Pseudoscience314
- A. Ilkov – Dyson, Venter and Sasselov324
- Fr. Dyson – When Science & Poetry Were Friends328
- A. Burke – Building the Knowledge Capitals of the Future.....338
- S. G. Kara-Murza – Social functions of science in crisis conditions467
- V. Vassilev – My beautiful science474

PHYSICS AND METAPHYSICS

- V. Vizgin – An experiment and an miracle352

PHYSICS AND SOCIETY

- D. Dinev – The Bulgarian academy of sciences – to be or not to be.....71
- Fr. Wilchek – Deep simplicity80
- A. Zewail – Curiouser and curiouser: managing discovery making179
- P. Freund – A passion for discovery.....182
- Al. Abbott at al. –
Do metrics matter?.....345

ФИЗИКА И ОБУЧЕНИЕ

- GAS – въведение във физиката на ускорителите в България
- А. Георгиева и Е. Вълчева, XXXIX Национална конференция по въпроси на обучението по физика, „Атомната и ядрената физика в образованието”
- За академик Матей Матеев – човека, учения, преподавателя, общественика
- И. Джокин – “Астропарти Байкал”

СЪЮЗЕН ЖИВОТ

- Симпозиум
- XXXIX Национална конференция
- П. Лазарова – Седми редовен конгрес на Съюза на физиците в България
- Приветствено слово на Председателя на БАН, акад. Н. Съботинов

НАУЧЕН ЖИВОТ

- Юбилейна сесия „100 години от откриването на атомното ядро”

КНИГОПИС

- Н. Ахабабян – Апокалипсис – когато му дойде времето...
- Ст. Язаджиев – Отзив за учебника „Квантова механика” с автори М. Матеев и А. Донков
- Ш. Дичева-Христозова – „Смях и битие”: Никола Балабанов, „mc² + усмивка”
- М. Замфиров – У. Айзаксън, “Айнщайн. Неговият живот и Вселената”
- “Хоризонти на физиката”
- Н. Велчев – Необходим справочник за инженери и физици

PHYSICS AND TEACHING

- GAS – Introduction to Accelerator Physics in Bulgaria85
- A. Georgieva and E. Vulcheva, XXXIX National conference on Physics teaching, „Atomic and Nuclear Physics in Education”198
- Acad. Matey Mateev – the man, the scientist, the professor and public figure202
- I. Dzhokin. Astroparty Baikal365

UNION

- Symposium87
- XXXIX National conference88
- P. Lazarova – Seventh regular congress of the Bulgarian physicists.....217
- BAS President, acad. N. Sabotinov, address at the Congress.....222

SCIENTIFIC LIFE

- Jubilee session “100 years since the discovery of the atomic nucleus”.....296

BIBLIOGRAPHY

- N. Ahababyan – Apocalypse – when its time comes89
- St. Yazadzhiev – Review of the textbook “Quantum mechanics” by M. Mateev and A. Donkov93
- Sh. Dicheva-Hristozova – “Humor and realities”: Nikola Balabanov, „mc² + a smile”224
- M. Zamfirov – W. Isaacson, „Einstein. His Life and Universe“226
- “Physics’ Horizons”359
- N. Velchev – A useful reference book for engineers and physicists484

PERSONALIA

- Нели Стоилова – Академик Чавдар Палев на 75 години
- К. Коленцов – Успех на физиката в БАН

IN MEMORIAM

- Проф. Дончо Захариев Стайнов (1935-2010)
- Проф. Малина Попова (1922-2011)
- Проф. дфн Николай Костов (1956-2011)
- Проф. дфн Николай Мартинов (1939-2011)
- Проф. Марио Стоицов (1953-2011)

ИНТЕРЕСНО

- О. Йорданов – Интересни веб-страници
- О. Йорданов – Интересни веб-страници
- О. Йорданов – Интересни веб-страници
- О. Йорданов – Интересни веб-страници

ЧЕТИВО С ПРОДЪЛЖЕНИЕ

- Г. Фармело – Най-странният човек– част I
- Г. Фармело – Най-странният човек– част II
- Г. Фармело – Най-странният човек– част III
- Г. Фармело – Най-странният човек– част IV

АНТИ-НОБЕЛОВИ НАГРАДИ

- М. Замфиров – Анти-Нобелови награди за 2011

PERSONALIA

- Nely Stoilova – Acad. Chavdar Palev's 75 years anniversary229
- K. Kolentsov – Physics' success in BAS360

IN MEMORIAM

- Prof. Doncho Zahariev Staynov (1935-2010).....94
- Prof. Malina Popova (1922-2011)231
- Prof. Nikolay Asenov Kostov (1956-2011) ...362
- Professor D.Sci. Nickolay Martinov480
- Professor Mario Valentinov Stoitsov (1953-2011).....482

INTERESTING

- O.Jordanov – Interesting web-pages.....127
- O.Jordanov – Interesting web-pages.....232
- O.Jordanov – Interesting web-pages.....363
- O.Jordanov – Interesting web-pages.....486

SERIAL

- G. Farmello – The strangest man – part I100
- G. Farmello – The strangest man – part II234
- G. Farmello – The strangest man – part III.....368
- G. Farmello – The strangest man – part IV....488

IG-NOBEL PRIZES

- M. Zamfirov – Ig-Nobel prizes for 2011.....514

ТОЗИ ТОМ СЕ ПУБЛИКУВА С ЩЕДРАТА ФИНАНСОВА ПОДКРЕПА НА
ЕВРОПЕЙСКОТО ФИЗИЧЕСКО ДРУЖЕСТВО

THIS VOLUME IS PUBLISHED WITH THE GENEROUS FINANCIAL SUPPORT OF THE
EUROPEAN PHYSICAL SOCIETY

Нашиите автори:

Фейдон Авурис – член на IBM и мениджър по нанонауки и технологии в Изследователския център “Томас Дж. Уотсън” на IBM в Йорктаун Хайтс, Ню Йорк.

И. Тодоров – академик, ИЯИЯЕ, БАН

Ч. Стоянов – член-кореспондент, ИЯИЯЕ, БАН

М. Бушев – доц. д-р, ИФТТ, БАН

Н. Велчев, проф., д-р, ПУниверситет „П. Хилендарски”

В. Василев – Студент първи курс в ETH-Zurich, Chemical engineering/ChemE

През 2012 г. в “Светът на физиката” четете:

В. Рубаков – Тъмната материя

А. Линде – Многоликата Вселена

М. Савина, С. Шматов – Физика с допълнителни измерения

М. Н. Монастирски – Джон фон Нойман

Р. Сагдеев – Спомени за учителя Д.А.Франк-Каменецкий

Ч. Стоянов – Диполни преходи в атомните ядра

Ян Хътчинсън – Джеймс Кларк Максвел и християнската парадигма

В. Захаров – Науката в Русия и съвременния свят

М. Замфиров – Прилагането на нестандартните задачи в училище – размисли върху един експеримент

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА 4'2011 THE WORLD OF PHYSICS 4'2011
СЪДЪРЖАНИЕ CONTENTS

НОБЕЛОВА НАГРАДА 2011

NOBEL PRIZES 2011.....393

НАУКАТА

– Ф. Авурис – Електроника и фотоника на въглеродните нанотръби
– М. Бушев – Сто години свръхпроводимост
– Т. Маскава – Нобелова лекция: За какво ни говори нарушението на СР-симетрията?

THE SCIENCE

– P. Avouris – Carbon nanotube electronics and photonics396
– M. Bushev – 100 years superconductivity410
– T. Maskawa– Nobel lecture: What Does CP Violation Tell US?430

ИСТОРИЯ

– И. Тодоров – Паскуал Йордан – забравен създател на квантовата теория
– Х. Нусбаумър, Л. Биери – Кой откри разширяващата се вселена?

HISTORY

– I. Todorov – Pascual Jordan – Forgotten creator of quantum theory438
– H. Nussbaumer, L. Bieri – Who discovered the expanding universe?.....459

НАУКА И ОБЩЕСТВО

– С. Г. Кара-Мурза – Социалните функции на науката в условия на криза
– В. Василев – Моята красива наука

SCIENCE AND SOCIETY

– S. G. Kara-Murza – Social functions of science in crisis conditions467
– V. Vassilev – My beautiful science474

IN MEMORIAM

– Проф. дфн Николай Мартинов (1939-2011)
– Проф. Марио Стоицов (1953-2011)

IN MEMORIAM

– Professor D.Sci. Nickolay Martinov480
– Professor Mario Valentinov Stoitsov (1953-2011).....482

КНИГОПИС

– Н. Велчев – Необходим справочник за инженери и физици

BIBLIOGRAPHY

– N. Velchev – A useful reference book for engineers and physicists484

ИНТЕРЕСНО

– О. Йорданов – Интересни уеб-страници

INTERESTING

– O.Jordanov– Interesting web-pages.....486

ЧЕТИВО С ПРОДЪЛЖЕНИЕ

– Г. Фармело – Най-странният човек- част IV

SERIAL

– G. Farmello – The strangest man – part IV.....488

АНТИ-НОБЕЛОВИ НАГРАДИ

– М. Замфиров - Анти-Нобелови награди за 2011

IG-NOBEL PRIZES

– M. Zamfirov – Ig – Nobel prizes for 2011 514

СЪДЪРЖАНИЕ НА ТОМ XXXIV

CONTENTS OF V. XXXIV517

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА

том XXXIV, кн. 4, 2011 г.

Издание на Съюза на физиците в България

http://old.inrne.bas.bg/wop/wop_4_2011/

(със спомоществователството на Българска академия на науките)

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

EDITORIAL STAFF

ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Нъшан Ахабабян <ahabab@inrne.bas.bg>

EDITOR-IN-CHIEF

Nashan Ahababjan

ЗАМЕСТНИК ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Михаил Бушев <m_bushev@abv.bg>
Олег Йорданов <oleg.yordanov@gmail.com>

VICE EDITOR-IN-CHIEF

Michael Bushev
Oleg Yordanov

ОТГОВОРЕН СЕКРЕТАР

Милен Замфиров <worldofphysics@abv.bg>

EXECUTIVE SECRETARY

Milen Zamfirov

ЧЛЕНОВЕ

Валери Голев <valgol@phys.uni-sofia.bg>
Георги Граховски <grah@inrne.bas.bg>
Динко Динев <dinnet@inrne.bas.bg>
Людмил Вацкичев <Lyuvats@phys.uni-sofia.bg>
Никола Балабанов <Balaban@pu.acad.bg>
Светослав Рашев <rashev@issp.bas.bg>
Ганка Камишева <gkamish@issp.bas.bg>

MEMBERS

Valeri Golev
Georgi Grahovski
Dinko Dinev
Liudmil Vatzkitchev
Nicola Balabanov
Svetoslav Rashev
Ganka Kamisheva

ТЕХНИЧЕСКИ СЕКРЕТАР

Снежана Йорданова <upb@phys.uni-sofia.bg>

TECHNICAL SECRETARY

Snejana Iordanova

ВОДЕЩ БРОЯ: Светослав Рашев

АДРЕС НА РЕДАКЦИЯТА:

1164 София,
Бул. Джеймс Баучер № 5 ☎ 862 76 60
e-mail: worldofphysics@abv.bg

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

5, James Bouchier Blvd,
1164 Sofia

ПРЕДПЕЧАТНА ПОДГОТОВКА: Д. Денчева

Дадена за печат на 30 ноември 2011 г.

ПЕЧАТНИЦА „ГИТАВА“ — СПОНСОР НА „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“

бул. Цариградско шосе 72

ISSN: 0861–4210