



**ПРИВЕТСТВИЕ НА ПРЕЗИДЕНТА НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ  
Г-Н ПЕТЪР СТОЯНОВ**  
пред участниците в кръглата маса "Наука и образование"  
на Общобългарския събор "Рожен-2000"



Уважаеми господин председател, Уважаеми дами и господа,  
Най-напред да благодаря на организаторите, на хората, които се погрижиха тази маса да стане, и на всички вас - присъстващите и от България, и от чужбина за това, че с присъствието си направихте тази маса същностна и важна. Исках да чуя нарочно няколко от изказванията и би било наивно да мисля, разбира се, че само след три изказвания, тези на професорите Петков, Съселов и Тодоров, ще успея да си съставя цялостна картина за това как върви вашата дискусия, но не това е моята цел. Нямам за цел, разбира се, говорейки днес тук да се превръщам в пълноправен участник във вашата дискусия, защото би било наивно и смешно да го сторя. Нито един човек извън вашите среди, пък бил той и Президент, не може да участва в една подобна дискусия, особено когато става въпрос за нейните технологични параметри. Но очевидно, че моето присъствие тук пък вдъхнови поне изказващите се в това време да адресират и част от своите препоръки към политическите лидери, към управляващи и по този начин прехвърлихте мост към темата, която вече е същностна тема и за която струва ми се съм поканен тук, на тази маса.

Точно преди три години за първи път ме поканихте когато чествахте 24 май като празник на Българската академия на науките. Бях встъпил в длъжност като Президент само преди пет месеца. Всички очаквахте от мен в тази своя първа реч, впрочем произнесена експромто пред пълния салон на Академията на науките, да изкажа своето становище по въпроси, които за вас започваха да стават почти драматични. Казах нещо,

което ми се ще да повтора и днес. Казвам същото затова, защото не съм променил нито на йота тогавашната си позиция. И науката и образованието са изключително важна част от всяка днешна развита държава. Нито една съвременна държава, чиито граждани имат свободен стандарт на живот, която има солидни постижения във всички области, която печели авторитета на света, не може да постигне това, без да има в основата си една солидна наука, научни изследвания, научни постижения. Но парадоксалното е, че ако това е вярно за развитите държави, то е три пъти по-вярно за държавите в преход, такава, каквата е България. Би било изключително глупаво да се оправдаваме с липса на средства за научни изследвания, с това, че ние сме държава в преход. Точно обратното е, макар и парадоксално да звучи на някои. Понеже сме държави в преход и понеже искаме да съкратим пътя към онези държави, дето все ги наричаме развити и казваме, че са нашия цивилизационен избор, ние трябва да увеличаваме средствата за науката и научните изследвания. Казано по-просто – ако е вярно, че между нас, разбира се, не по наша вина, принадлежахме 45 години на една отчайващо развита комунистическа система. Ако е вярно, че в резултат на тези 45 години дистанцията между нас и развитите западноевропейски държави и САЩ стана доста голямо, то повече от очевидно е, че не можем да скъсим тази дистанция, използвайки същите тривиални, стандартни методи, защото тя най-малко ще остане същата. Очевидно, че трябва да използваме нестандартен метод, който да даде възможност да скъсяваме тази дистанция. Далеч съм, разбира се, от крилатата фраза на вожда и учителя на българския народ, че ние за 20 години ще направим това, което други направиха за 100. Подобни дивотии най-малко могат да бъдат лансирани на масата, на която стоят толкова сериозни учени. Освен това става въпрос за нестандартно мислене. Мислене, което да използва по някакъв начин онова, което наричат обикновено български национален ресурс. Не искам да прескачам в територията на националистичното, шовинистичното, да стигам дотам, че по-гениален и по-талантлив народ от българите няма. Това, разбира се, че не може да бъде лансирано, но е достатъчно и това дето сме толкова талантливи и гениални. И ако можем да впрегнем своя талант и своя гении в позитивни неща, които да дадат резултати. Прескачам от изказването на професор Петков и минавам през професор Съселов. Честно казано, винаги изпитвам гордост, когато нашите преподаватели, в това число и тези от чужбина, ми казват какъв в коефициентът на интелигентност на българчетата. То стана всъщност христоматиен проблем. Няма български журналист, който да не посягат към тази тема, колчем се разклати националното ни самочувствие. Това е и най-често срещаният упрек към политиците. Как може пък толкова талантливи българчета, дето така напълниха Харвард и Принстън и така смайват своите университетски преподаватели, при толкова талантливи деца да има толкова неталантливи управници, дето да не могат тая държава да я изведат на онова подobaващо място, което заслужава. Сега, разбира се, това звучи анекдотично, но на мен ми се струва, че трябва да се замислим и върху този проблем. Ни най-малко не оспорвам, разбира се, тезата и за добрата база, която дават българските гимназии и начални училища, българските университети и различните научни школи. Това е извън всякакво съмнение. И може би тази маса е добър повод да изкажа своята благодарност тук, от Общобългарския събор, на всички български учени, особено на тези, които продължиха да работят в България, затова защото в момента те проявяват много повече дух, да не кажа патриотизъм. Но пък в българската история не веднъж има момент, когато именно духът ни е спасявал, именно духът е компенсирал изоставане в резултат на чуждо владичество, тежки, изнурителни войни, имам предвид и Първата, и Втората световна война. Затова си мисля, че при положение, че наистина – и това е безусловно вярно - тук вече говорим свършено сериозно, че имаме такъв потенциал от млади хора, и от средно поколение, и от зрели български учени, не трябва

ли да мислим по-скоро върху начина, по който можем да организираме, да впрегнем цялата онази сила да работи за България. Зная какво ще ми кажете: че това е по-малко работа на учените и повече работа на политиците. Политиците обаче се нуждаят от подсказване. Не оставяйте всичко да го вършат политиците, защото няма да могат да го свършат както трябва. Очевидно е, че политиците се нуждаят от подсказване. И то нуждаят се от лансирани идеи, зад които да застава една общност, цяла една гилдия. Позволявам си да кажа, ако щете дори го схванете като упрек, че през тези два дни тук, на Рожен, не ми се щеше да влизам чак в такива детайли, но позволявам си да кажа, че повече от идеите, и умни идеи, разбира се, които се лансират от научната област, имат фрагментарен характер. Тук-там се появи някой, който лансира идея, дето е близка до гениалната, или поне така звучи. И не минава дълго време, когато се появи втора, дето всъщност обяви, че това е всъщност лъженаука, шарлатания, и че с тая работа България напред не може да върви. Много е важно, според мен, да има един цялостен базис, една цялостна концепция, която да бъде лансирана много ясно пред българското общество и пред българските политици и да бъде казано. Това е възможността да използваме нашите български, ако щете дори и характерови особености, защото всеки народ има някакъв тип особености, които могат да бъдат впрегнати особено в днешния век, така наречения глобализиращ век, който дава прекрасни възможности. Впрочем аз си мисля - дано да не звучи малко лаически, слушайки дебата и дискусиите около глобализацията – те като че ли не намериха прекалено драматично място на страниците на българските медии. Но и в Западна Европа, особено в Америка, дебата “за” и “против” глобализацията тече със страшна сила. Аз си мисля, че глобализацията, от гледна точка на държави в трансформация, посткомунистически държави като България, е невероятен шанс. Тя дава възможност всъщност за използване на нестандартни методи. Защото само преди 100 години, ако ние имахме тази дистанция със западния свят и Америка, ние можехме да използваме само традиционни методи за наваксване. А ако е вярно, а то без съмнение е вярно, че нашето младо поколение е точно такова компютърно поколение, каквото е холандското, датското, германското и американското младо поколение, ако това е вярно, аз мисля, че и това е един от начините да скъси тази дистанция, за която толкова често говорим. Даже ако щете глобализацията по един опосредстван начин, според мен, помогна и за падането на Берлинската стена, и за демократизирането на Източна Европа. Точно под напора на глобализацията беше ясно за източноевропейските комунистически режими, че не могат дълго време да държат своите народи в тази информационна черупка, в която ги държаха. Защото идва време, дето всяко 15 годишно хлапе, с едно натискане на бутоната разбира как се живее в Лос Анжелис, какво се прави в Париж, какво е положението в Калкута. И не можеш да му казваш, че по най-добрия начин да се живее в България, а може би по-добре само в Съветския съюз. Така, че няма защо се мръщим на глобализацията. Въпросът за или против глобализацията звучи глуповато. Въпросът е кой най-бързо ще успее да я яхне и да я използва, и за свой национален интерес, и, разбира се, за интереса на човечеството. Аз не съм сигурен дали не говоря малко по-абстрактно, не знам дали за това не ме вдъхновиха Роженските поляни. Но не на шега виждайки това българско събиране, за чието провеждане аз също имах известни резерви, няма да скрия от вас, че имаше хора, които не мислеха, че събирането ще добие такъв мащаб, че то ще има такъв дух. Вчера цял ден прекарах там на ливадите, на Роженските поляни. И най-големите скептици, и онези дето винаги кършат пръсти и казват: загубени сме, толкова е лошо, толкова е зле, така никога не е било, според мен този път бяха опровергани. Затова защото се оказа, че извън хората, които лансират политическите идеи на територията на софийските жълти павата, и цялата онази останала част от българския народ, която в много по-голяма степен изпитва недоимъка

отколкото той се изпитва в София, и въпреки това се оказва, че тези хора ни даваха на нас, оплакващите се политици кураж, като ни казваха: Господин Президент, сега сме дошли два дни да говорим за България, да говорим за хубави неща. Зле сме, вярно, че не сме добре, но няма да ви говорим за това сега. Дайте да видим как да се измъкнем от тази ситуация. Потенциалът го има и той е в българския народ. Който не го вижда, значи е слепец. И аз съм дълбоко убеден, че това, което вие правите тук е нещото, което ще бъде оценено от българския народ по достойнство. Надали има друг народ в Европа, който да изпитва такъв пиетет към своите учени хора, към онова, което се прави от учени, от интелигентни, който да изпитва такъв култ към образованието. Стара, банална, изтъркана истина. Да, но може да я използваме по един превъзходен начин. Няма да се намръщи нито един обикновен българин ако държавата обяви, че дава повече средства за наука и за образование. Напротив, това би било най-популярната, да не кажа популистка идея. Дай, Боже, повече такива популистки идеи. Ако една политическа партия или коалиция иска да направи добра предизборна програма преди избори, ако бих бил лидер на такава политическа партия, обезателно бих вкарал такъв текст, и не само бих го вкарал като предизборен текст, а бих работил за неговото реализиране. Защото, убеден съм, онова, което се инвестира интелигентно в науката – тук, разбира се, идваме до нещо много съществено, не запомних термина на професора от Харвардския университет, как беше, “предвидлива пестеливост” – добре, българинът е пестелив човек. Много от качествата, които, според мен, ни правят много съвременни хора нас, българите; ако прочетете Иван Хаджийски, думите му за панагюрските абаджии, за копривщенските занаятчии, не може да не ви направи впечатление, че нашенецът не е склонен към авантюри, не използва своето Източно Черноморие да търси Златното руно, което е от другата страна на брега. Той предпочита бод след бод и копаейки нивата си да има един сигурен резултат – практичен човек. Този практицизъм, според мен, може да бъде впрегнат в много неща. Уважаеми госпожи и господа, аз ще спра дотук и ще напусна вашата кръгла маса, защото като домакин на целия този Събор трябва да отида на всички места. Искам още веднъж да ви пожелаая ползотворен разговор, ползотворна дискусия. На мен ми се струва, че самият факт, че се събрахме около тази маса учени, работещи в различни области в България, учени, дошли от целия свят, на които пък специално искам да благодаря затова, защото дойдохте тук очевидно водени от желание само да помогнете, защото тук нищо не се дава на този събор, тук няма никакъв бонус, не се дават лицензии, не се раздават титли. Благодаря ви от сърце наистина на всички! Много се надявам и след тази кръгла маса да направим една стъпка към онова, за което говорим в последните години. Ако ви пита някой: добре, и все пак, направете тази концепция, ще има и хора скептици, защото в последните 50 години само концепции правим, но ако ви пита някой каква ще е тази концепция и кой ще я подкрепи, може да казвате спокойно – Президентът и той ще я подкрепи. Аз наистина стоям зад тази концепция!

Благодаря ви!

27 август 2000 г.



Петър Стоянов

## НОБЕЛОВИТЕ НАГРАДИ ЗА 2000 г.

**Кралската Шведска Академия на Науките присъди Нобеловата награда:**

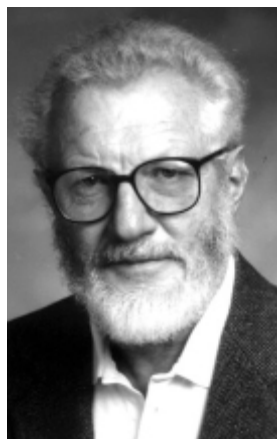
- за **физика** (на 10-ти октомври): на учени и откриватели, чиято работа е довела до създаването на съвременната информационна технология, ИТ, и по-конкретно чрез откритите от тях бързи транзистори, лазерни диоди и интегрални схеми (чипове), като първата половина от наградата се присъжда съвместно на:

Проф. **Жорес Иванович Алфьоров**, директор на Физико-техническият институт "А. Ф. Йоффе" в Санкт Петербург, Русия (роден на 15 март 1930 г. в гр. Витебск, Белорусия) и на проф. **Херберт Крьомер** /Herbert Kroemer/ от Калифорнийския университет в Санта Барбара (1928 г., Германия) за "разработване на полупроводникови хетероструктури, използвани във високоскоростната и опто-електрониката", а втората половина

на проф. **Джак Сейнт Клер Килби** /Jack St. Clair Kilby/ от *Texas Instruments*, Далас (роден през 1923 г. в Джеферсън сити, Мисури) за "приноса му в откриването на интегралната схема";



Жорес Алфьоров



Херберт Крьомер



Джак Килби

- за **химия**: на **Алан Хийгър**, **Алан МакДайърмид** (физик!) и **Хидеки Ширакава** за "откриването и разработването на проводящи полимери";

- за **физиология или медицина**: на **Арвид Карлсън**, **Пол Грийнгард** и **Ерик Кендел** за "направените от тях открития, свързани с преобразуването на сигнали в нервната система";

- за **литература**: на **Гао Синцзян** за "творчеството му, което е с универсална валидност, с горчиви прозрения и с лингвистична находчивост, което открива нови простори пред китайския роман и драма";

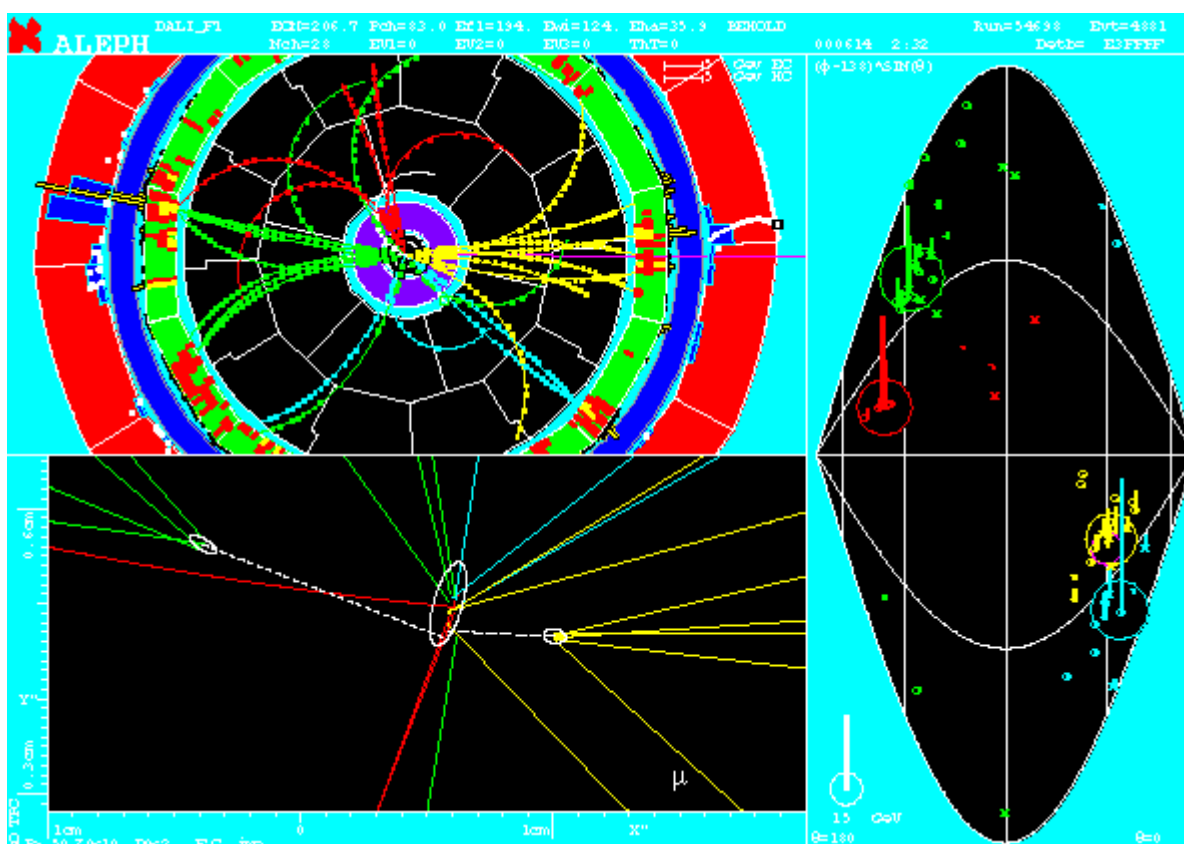
- за **мир**: на **Ким Те Чжун**, Президент на Южна Корея, за "усилията му за демократизация и защита на гражданските права в Южна Корея и в Източна Азия като цяло и особено за установяването на мир и помирение със Северна Корея".

Наградата на Банк оф Суидън в памет на Алфред Нобел за **икономически науки** бе присъдена: на **Джеймс Дж. Хекман** за "разработените от него теория и методи за анализиране на модели за избор" и на **Даниел Л. МакФаден** за "разработените от него теория и методи за анализиране на дискретния избор". Разработените от тях теории и методи в областта на микроикономиката се използват широко в емпиричния анализ на индивидуалното и семейното поведение, както в икономиката, така и в други социални науки.

Превод (по материали от Internet): И. Русев

## ВЕСТ ОТ ЧАСТИЦАТА - БОГ

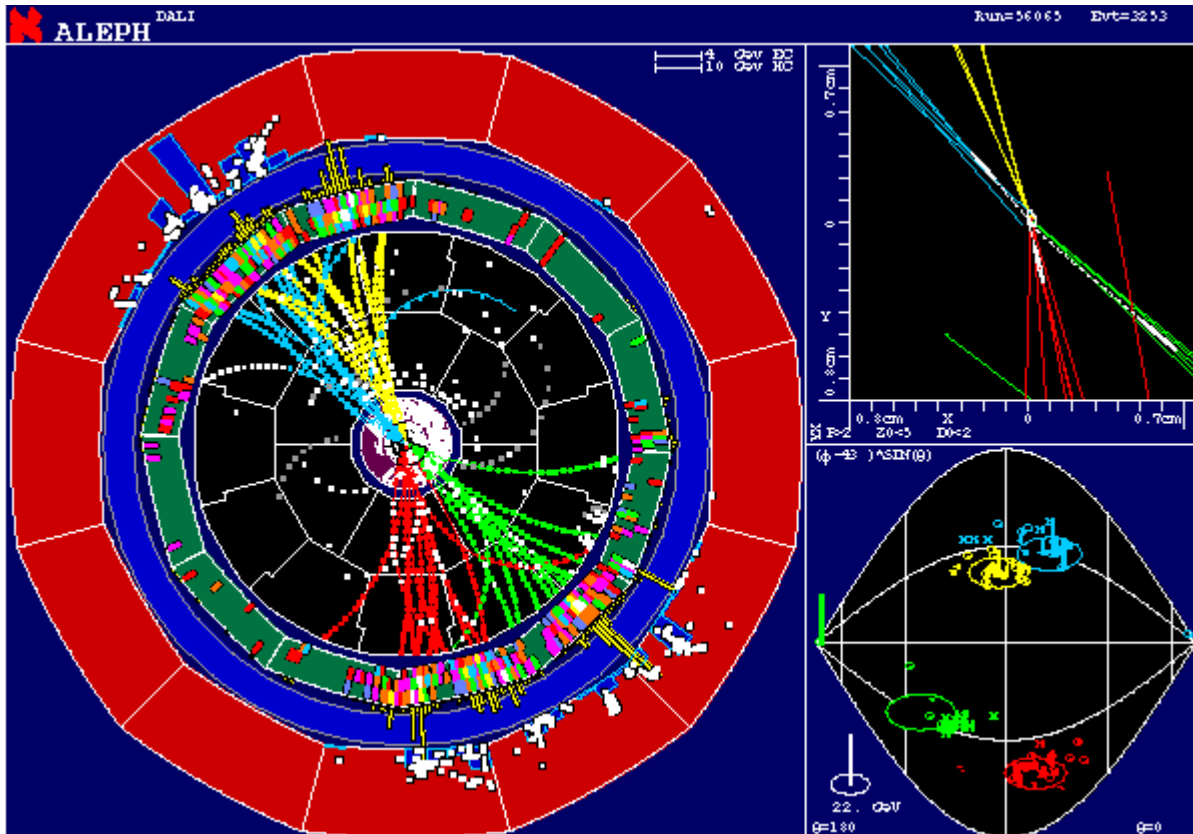
На 14 септември 2000 Генералният директор на CERN проф. Лучано Майани, по препоръка на Комитета по експериментите на LEP (Large Electron-Positron) и на Комисията по изследванията на CERN, реши да продължи експерименталното използване на ускорителя LEP до 2 ноември 2000 г. По план LEP трябваше да приключи 11-годишния си период на физически изследвания в края на септември и да започнат сложните операции за инсталирането на новия ускорител на CERN – Големият Адронен Кълайдър (Large Hadron Collider - LHC). Но тази промяна е обоснована от вълнуващи нови резултати, получени при експерименти с LEP. От това отлагане графикът за инсталирането на LHC няма да бъде нарушен.



Фиг. 1. Кандидат:  $e^+e^- \rightarrow qqbb$ , с 2 възстановени вторични вертикали

Една от основните физически цели на LEP беше търсенето на липсващата връзка в стандартния модел на физиката на елементарните частици, бозона на Хигс. Механизмът на Хигс е част от стандартния модел, която позволява на частиците да имат ненулева маса. Централната идея е поле, което просмуква цялото пространство. Частиците, които взаимодействат с полето на Хигс имат маса и техните маси се определят от силата на взаимодействието им с полето. Бозонът на Хигс е частицата, която е свързана с осцилациите на полето на Хигс. На теория механизъмът на Хигс изглежда точно това, което е необходимо, но експерименталното доказателство все още липсва. Бозонът на Хигс все още не е наблюдаван.

Историята на търсенията на Хигс-бозона с LEP води началото си от 1989 г. През първата фаза, до 1995 г., енергията на центъра на масите на LEP беше настроена на 91,2 GeV (Z0 масата) и изследванията доведоха до установяване на долната граница на масата на Хигс-бозона – 65 GeV. След 1996 г. търсенията продължиха с нарастващо повишаване на енергията, като през 1999 г. беше достигната максималната енергия от 202 GeV. Тези последователно повишавания на енергията на центъра на масата позволи да бъде изключено бозонът на Хигс да е с маса под 108 GeV.



Фиг. 2. Кандидат:  $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$ , с 3 възстановени вторични вертикали

През април 2000 г. установката бе подготвена за едно последно активиране. Беше направено всичко възможно енергията на снопа частици в LEP да бъде повишена колкото е възможно повече. Прекрасната работа на екипите на CERN позволи да бъде достигната енергия от 209 GeV, далеч отвъд предвидената в проекта на ускорителя максимална такава. Започна натрупването на значими експериментални данни при Z0 над 206 GeV и в обобщените резултати от четирите експеримента с LEP (ALEPH, DELPHI, L3 и OPAL) беше съобщено за голям брой събития, съответстващи на създаването на бозон на Хигс с маса около 114-115 GeV. Обаче топологията на тези събития е съвместима и с възможността те да са породени от други познати процеси на стандартния модел. Вследствие на това понастоящем не е възможно както да се изключи, така и да се потвърди съществуването на бозон на Хигс с енергия 114-115 GeV. Продължаването на работата на LEP през октомври 2000 г. е отговорът на тази интригуваща ситуация. Удълженото време ще даде възможност да се удвои броят на експерименталните данни при енергия над 206 GeV, което ще позволи по-добре да се провери евентуалният сигнал от бозон на Хигс при 114 GeV. Бозони на Хигс с толкова малка маса ще бъдат произведени в изобилие с LHC, главното украшение на бъдещата научна програма на CERN.



Превод: И. Русев

CERN Press Releases 14.09.2000

(<http://press.web.cern.ch/Press/Releases00/PR08.00ELEPRundela>)

# ЕЛЕКТРИЧЕСКИЯТ ДИПОЛЕН МОМЕНТ НА НЕУТРОНА КАТО ТЕСТ ЗА РАЗШИРЯВАНЕТО НА СТАНДАРТНИЯ МОДЕЛ ВЪВ ФИЗИКАТА НА ЕЛЕМЕНТАРНИТЕ ЧАСТИЦИ

Пламен Яйджиев, н.с. в ИЯИЯЕ – БАН

## 1. ИСТОРИЧЕСКО ВЪВЕДЕНИЕ

Измерването на електричния диполен момент (ЕДМ) на елементарна частица като неутрона представлява една от най-интересните възможности за прогрес във физиката на елементарните частици. Ние знаем, че поведението на фундаменталните частици и сили се определя от законите на симетрия - последователност от “огледални” закономерности. Например, ако всички частици, участващи в дадено взаимодействие, бъдат заменени с техните античастици (С-симетрия) или техните координати в пространството бъдат реверсирани (Р-симетрия), резултатът ще бъде огледално отражение на началното взаимодействие. Същото правило е в сила и ако процесите са обърнати във времето, като филм, който се прожектира в обратна посока (Т-симетрия). Разбира се тези закони на симетрия не са съвсем точни - ако те не се нарушаваха Вселената би съдържала днес еднакво количество материя и антиматерия, а това очевидно не се наблюдава. Затова изследването на нарушението на законите на симетрия е важен подход за създаването на коректна теория на частиците и техните взаимодействия. Като следствие от изискването за релятивистка инвариантност на физическите закони е необходима и инвариантност относно комбинираната операция на симетрия СРТ (теорема на Людерс - Паули).

В процеса на търсене на тези асиметрии измерването на ЕДМ на елементарните частици открива интересни възможности за изследване на нарушението на симетрията относно времевите трансформации. В течение на много години експериментите в атомната и ядрената физика са били в пълно съгласие с хипотезата за инвариантност на физическите закони при симетрични операции спрямо пространствените координати (Р-четност) или времето (Т-четност). Независимо от всички експериментални доказателства Дирак пръв поставя тази хипотеза под съмнение. В една от работите си през 1949 г. той пише: “Аз не вярвам, че има каквато и да било причина физическите закони да бъдат инвариантни спрямо отражение в пространството и времето, независимо от това, че законите на природата, които познаваме до днес, притежават тази инвариантност”. Дирак предсказва също така и възможното съществуване на частици със свободен магнитен заряд. Това би направило уравненията на Максвел симетрични спрямо електричното и магнитното полета, но се въвежда и нарушение на Р- и Т-симетрията. Коментарът на Дирак е, че наличието на магнитен заряд би обяснило по естествен начин квантуването на електрическия заряд и приемането на нарушението на Р- и Т-симетрията изглежда приемлива цена за решаването на този проблем. Засега опитите за наблюдение на магнитен монопол са неуспешни.

Неутронът има спин  $s = 1/2$  и основното състояние се определя изцяло от спиновото квантово число  $m_l = \pm 1/2$ . Във външни електрическо  $\vec{E}$  и магнитно  $\vec{B}$  полета, хамилтонианът е

$$H = 2S \left( \mu_n \cdot \vec{B} + d_n \cdot \vec{E} \right), \quad (1)$$

където  $d_n$  и  $m_n$  представляват електрическият и магнитният диполни моменти на неутрона. Електрическият диполен момент трябва да лежи по оста  $\vec{z}$ , в противен случай ще бъде необходимо още едно квантово число за описване на основното състояние на неутрона, при това всяка компонента, перпендикулярна на  $\vec{z}$ , ще бъде ненаблюдаема. Този хамилтониан демонстрира нарушение на Р- и Т-симетрията; при Р-трансформация  $E \rightarrow -E$  и  $B \rightarrow B$  не се променя; при Т-трансформация  $B \rightarrow -B$  и  $E \rightarrow E$  не се променя; независимо от тези нарушения на Р- и Т-симетрията комбинираната СРТ-симетрия се запазва.

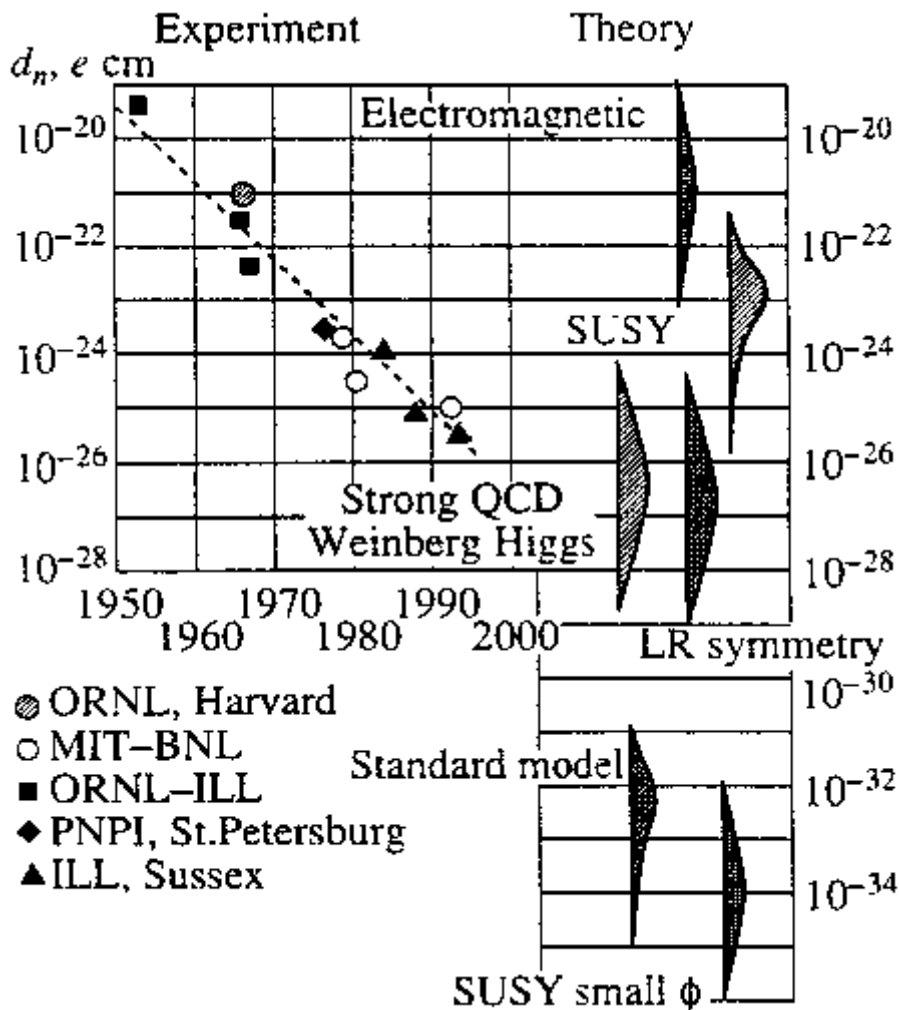
Вдъхновени от аргументите на Дирак, по времето, когато предположението за наличие на различен от нула ЕДМ на неутрона е изглеждало като безумие, през 1950 г. Пърсел и Рамзи предлагат експеримент за измерването на ЕДМ като тест за наблюдение на запазването на Р-симетрията. Експериментът е проведен на ядрения реактор в Оукридж през 1951 г. по метода на неутронния магнитен резонанс. Получено е първото ограничение на ЕДМ на неутрона -  $d_n \leq 5 \cdot 10^{-20}$  е.см, а резултатът е публикуван 6 години по-късно, след откриването на запазването на Р-четността в слабите взаимодействия.

През 1964 г. в лабораторията в Брукхайвън, САЩ, Джеймс Кронин и Вал Фрич откриват асиметрия в поведението на неутралния каон и неговата античастица. Неутралният каон е мезон, съставен от странен кварк или антикварк и долен кварк или антикварк. Тази асиметрия представлява нарушение на СР-симетрията и досега остава една от най-големите загадки във физиката на елементарните частици. Такъв СР - нарушаващ ефект може да бъде описан като асиметрия при смесването на неутралния каон с неговата античастица. През последните две години беше наблюдавано и нарушение на СР-симетрията и при разпадането на неутралния каон. Този ефект се нарича директно нарушение на СР-симетрията и повиши още повече интереса към търсенето на ЕДМ на елементарните частици, като проява на нарушение на Т-симетрията.

Стандартният модел на електрослабите взаимодействия е една от най-мощните конструкции във физиката на елементарните частици и включва в себе си нарушението на СР- и Т-симетрията. В него се описват всички частици и силите, чрез които те си взаимодействат с помощта на малък брой елементарни частици и преносители на взаимодействието между тях. Елементарните частици са шест кварка и шест лептона и са подредени в три семейства. Първото съдържа най-леките кварки - горен (up) и долен (down) - и електрона и електронното неутрино; второто семейство съдържа по-тежките странен (strange) и очарован (charm) кварки заедно с мюона и мюонното неутрино; третото семейство се състои от най-тежките кварки - (top) и (bottom) - и тау-лептона и тау-неутрино. Всяка частица има съответстваща античастица. В стандартния модел са включени и група от частици, които са носители на силите между елементарните частици. Фотонът е свързан с електромагнитните сили; масивните  $W^+$ ,  $W^-$  и  $Z^0$  бозони носят електрослабата сила и осем глюона пренасят силните взаимодействия, които задържат кварките, антикварките и глюоните в по-сложни частици наречени адрони. Има два типа адрони - бариони (като неутрона и протона, които съдържат по три кварка) и мезони (като пиона и каона, които съдържат кварк и антикварк). Масите на елементарните частици са между 19 свободни параметъра на стандартния модел. Създаването и проверката на модели, които разширяват и допълват стандартния модел,

е основна задача на физиката на елементарните частици. Например търсенето на Хигс-частици, чието съществуване може да обясни големината на масите на елементарните частици, е решаващ аргумент при проектирането на бъдещите ускорителни експерименти.

Съществен принос в проверката на теории “отвъд” стандартния модел представляват експериментите по търсене на ЕДМ на неутрона. В стандартния модел приносът към ЕДМ на неутрона се появява във втори порядък по константата на слабите взаимодействия и е около  $10^{-32} - 10^{-35}$  е.см. Тази величина е далеч от възможностите на експериментите в момента. Разработването на калибровъчните теории със спонтанно нарушение на симетрията доведе до появата на друг тип модели за описание на запазване на CP-симетрията. Моделите с множествени хигсови частици, суперсиметричните модели, ляво- и дясно-симетричните теории включват в себе си разширение на симетрията на стандартния модел и добавят нови частици. Величината на ЕДМ на неутрона в тези модели се появява в първи порядък по константата на слабите взаимодействия и е в рамките на съвременните експерименти -  $10^{-26} - 10^{-28}$  е.см. Затова измерването на ЕДМ с такава експериментална чувствителност е важно за тест на теориите “отвъд” стандартния модел. На Фиг. 1. е показана експериментално определената горна граница на ЕДМ на неутрона в различните експерименти и теоретичните предсказания на различните модели. Оценката на горната граница на ЕДМ от експеримента в Институт Лауе-Ланжвен в Гренобъл е направена с най-голяма точност досега и е  $d_n \leq 6 \cdot 10^{-26}$  е.см.



Фиг. 1. Експериментални горни граници на неутронния ЕДМ и теоретични предсказания на различни модели

ЕДМ и на други елементарни частици - електрон и мюон - са интересни за разширението на стандартния модел и директно наблюдение на незапазване на Т-симетрията. Експериментално са поставени горните граници  $d_e \text{ J } 4 \cdot 10^{-27} e \cdot \text{cm}$  и  $dm \text{ J } 10^{-18} e \cdot \text{cm}$ .

Предсказанията на стандартния модел за тези частици са съответно  $d_e \text{ J } 10^{-40} e \cdot \text{cm}$  и  $dm \text{ J } 10^{-38} e \cdot \text{cm}$ .

Експерименталната точност при измерванията на ЕДМ на мюона и електрона все още не е много висока, затова експериментите по измерване на ЕДМ на неутрона са почувствителен тест за теории "отвъд" стандартния модел.

## 2. ПРИНЦИП НА ИЗМЕРВАНЕТО НА ЕДМ НА НЕУТРОНА

Във всички експерименти за измерване на ЕДМ на неутрона досега се използва методът на магнитния резонанс, в който поляризирани неутрони взаимодействат със статични паралелни магнитно и електрическо полета във вакуум. Единствената вътрешна степен на свобода е свързана със спина на неутрона. В съответствие с хамилтониана в

електрическо и магнитно поле (1) и ако магнитното и електрическото полета са паралелни или антипаралелни, честотата на прецесия на спина е

$$\hbar \omega_n = -2m_n B \pm 2d_n E, \quad (2)$$

където  $\hbar$  е константата на Планк,  $m_n$  е магнитният диполен момент на неутрона (-1,913... ядрени магнетона),  $d_n$  е ЕДМ и положителен (отрицателен) знак е за  $B$  и  $E$  паралелни (антипаралелни). Когато електрическото поле променя посоката си от паралелно на антипаралелно на магнитното поле, честотата на прецесия се променя с

$$\delta \omega_0 = -4d_n \cdot E / \hbar. \quad (3)$$

ЕДМ с големина  $10^{-25}$  e.cm ще предизвика изменение на честотата на прецесия 1 m Hz при реверсиране на електрическо поле с 1 MV/m. Приложеното магнитно поле създава Зеemanово разцепване на състоянията на неутрона в магнитно поле, а последващото прилагане на електрично поле не създава ново разцепване на нивата, а само променя разстоянието между тях. Електрическата поляризуемост на неутрона не влияе на изменението на честотата на прецесия на неутрона при реверс на електрическото поле. При експериментите по измерване на ЕДМ на неутрона се регистрира изменението на честотата на прецесия  $\delta \omega_0$  при промяна на посоката на електрическото поле.

В ранните експерименти са използвани неутронни снопове със скорости на неутроните по-големи от 100 m/s (топлинни и студени неутрони). Чувствителността в тези експерименти беше ограничена от наличието на фалшив ефект, имитиращ ЕДМ -  $\vec{p} \times \vec{E}$  ефект. При движението на частица, притежаваща магнитен момент, с вектор на скоростта перпендикулярен на електрическото поле, в системата на покой на елементарната частица се генерира постоянно магнитно поле, което предизвиква допълнително увеличение на честотата на прецесия на спина. При експериментите, в които се използват ултразвудени неутрони (УСН), неутроните по време на прецесията се намират в кварцова камера, многократно променят направлението на скоростта си и усреднената им скорост е близка до нула. По този начин  $\vec{p} \times \vec{E}$  ефектът се елиминира.

### 3. УЛТРАЗВУДЕНИ НЕУТРОНИ

Като резултат от кохерентно силно взаимодействие между неутроните и ядрата на различните вещества, повърхността на някои от тях представлява потенциална стена за неутроните с голяма дължина на вълната. Този потенциал е наречен потенциал на Ферми :

$$V_f = (2 \hbar^2 / m) N b, \quad (4)$$

където  $m$  е масата на неутрона, а  $N$  е броят атоми в единица обем с кохерентна амплитуда на разсейване  $b$ . Неутрон със скорост по-малка от критичната  $v_c$ , която се определя от  $m v_c^2 / 2 = V_f$ , ще се отрази от повърхността при произволен ъгъл на падане. Ферми-потенциалът за повечето материали е около 300 neV, което съответства на около 7,6 m/s критична скорост. Поради пълното вътрешно отражение, което е резултат от голямата им дължина на вълната и ниска енергия, тези неутрони се наричат ултразвудени (УСН). Те се съдържат в нискоенергетичната част на неутронния спектър

в ядрените реактори и могат за определено време да бъдат съхранявани в камери от различни материали - кварц, неръждаема стомана, алуминий, тефлон и др.

За УСН в магнитна среда Ферми потенциалът, който се определя от взаимодействието на неутроните с ядрата, придобива допълнителен член, описващ взаимодействието на магнитния момент на неутрона  $m_n$  с магнитното поле  $B$  на средата,

$$V_f = (2 \hbar^2 / m) N \bar{v} \pm \mu_n B, \quad (5)$$

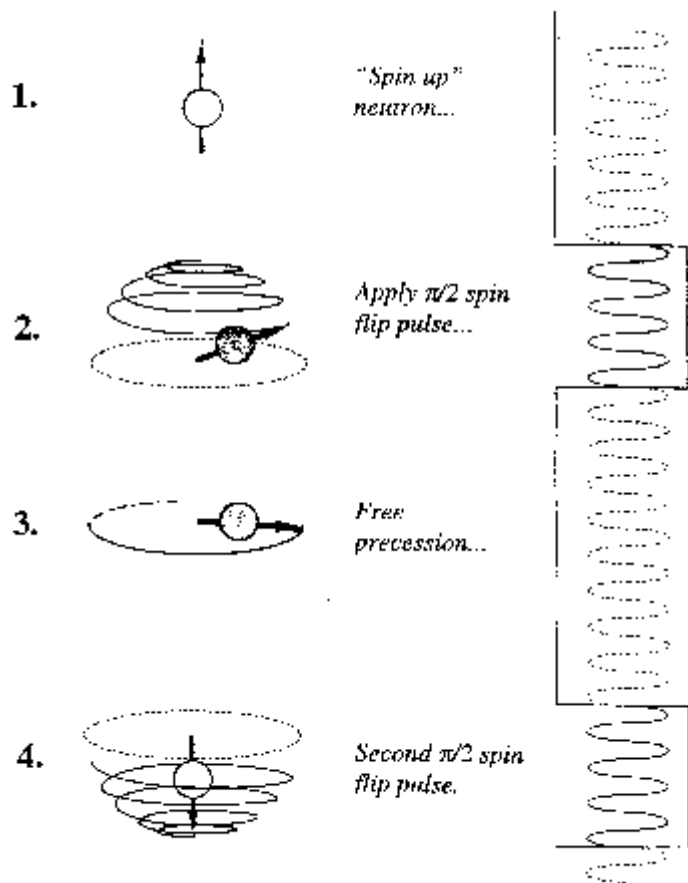
където  $\pm$  се отнася за двете спинови състояния на неутрона. Съществуват феромагнитни материали с много нисък Ферми-потенциал за едното спиново състояние и висок потенциал за другото състояние. При преминаването на УСН през намагнитизирани тънки слоеве от такива материали (желязо, кобалт и др.) само неутроните с едно от спиновите състояния преминават през магнитния материал и се осъществява почти 100 % поляризация.

Въпреки много ниската енергия на УСН (около 2 mK), камерата, в която се съхраняват неутроните може да бъде държана при стайна температура. На пръв поглед изглежда изненадващо, че УСН могат да бъдат съхранявани за време стотици секунди, без да придобият по-висока енергия и да напуснат камерата. Неутроните са слабочувствителни към топлинните трептения на отделните ядра в стената на камерата, защото отражението им е резултат от комбинираното кохерентно разсейване на милиарди атоми, лежащи на дълбочина около 100 Å под повърхността. При такова кохерентно разсейване топлинното движение на центъра на масите на такава голяма група от атоми може да бъде пренебрегнато. Плътноста на УСН, с която се работи в съвременните експерименти, е около 10 неутрона/cm<sup>3</sup> и вероятността за неутрон-неутронни взаимодействия не влияе на експериментите.

В експеримента времето на живот на УСН в камерата е 100 - 200 s и значително се различава от времето на полуразпадане на свободния неутрон, което е около 1000 s. Причините са поглъщане на неутроните от неидеално чистата стена на камерата и разсейването им от водородните атоми, които присъстват в големи концентрации на повърхността на почти всички материали. Част от неутроните изтичат от камерата поради невъзможността да бъде направена камера без малки (няколко m) пролуки при съединението на стените. Независимо от тези технологични загуби, плътност от няколко неутрона в cm<sup>3</sup> е характерна за съвременните експерименти.

#### 4. МЕТОД НА РАМЗИ С РАЗДЕЛЕНИ ОСЦИЛИРАЩИ ПОЛЕТА

Честотата на прецесия на неутроните в магнитно поле при измерване на ЕДМ се определя по метода на разделените осцилиращи полета (метод на Рамзи). Това е стандартен метод в експериментите с молекулярни снопове, при които в началото и в края на траекторията на прелитане на снопа през полето на взаимодействие се прилага осцилиращо поле. В експеримента по измерване на ЕДМ, където неутроните са затворени в камера, в началото и в края на периода на съхранение се прилагат два фазовокохерентни импулса. Те са разделени във времето, а не в пространството, както е в експериментите с молекулярни снопове. Фазовата кохерентност се осъществява, като двата импулса се подават чрез един и същ стабилизирани радиочестотен осцилатор.



Фиг. 2. Метод на Рамзи на разделените осцилиращи полета

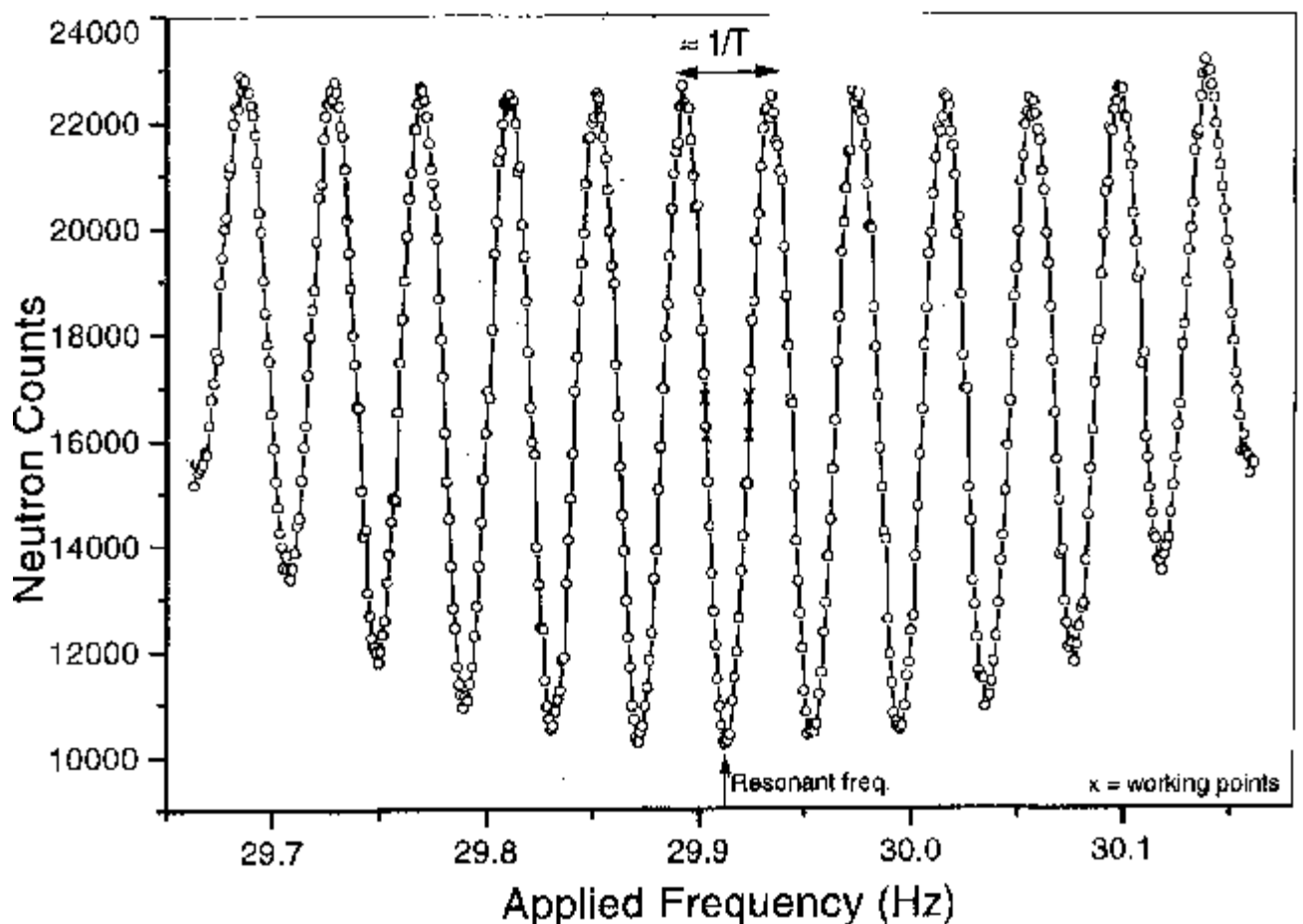
В началото на всеки измервателен цикъл неутроните преминават през намагнитизиран слой и навлизат в камерата с поляризация, антипаралелна на статичното магнитно поле  $B_0$ . Прилага се радиочестотно поле  $B_1$  с честота близка до резонансната и перпендикулярно на  $B_0$ . Амплитудата и продължителността на импулса се подбират така, че векторът на поляризация на УСН да се отклони на  $\pi/2$  и да стане перпендикулярен на  $B_0$ . През времето на съхранение на неутроните векторът на поляризацията прецесира в равнина перпендикулярна на  $B_0$ , докато вторият фазово-кохерентен радиочестотен импулс бъде приложен със същата амплитуда и честота. Векторът на поляризацията става паралелен на  $B_0$  (по оста z). За честота малко по-различна от резонансната, крайната z-компонента на поляризацията зависи от натрупаната фазова разлика между вектора на неутронната поляризация и радиочестотния осцилатор. В края на измервателния цикъл неутроните напускат камерата и преминават отново през намагнитизирания слой, който служи за анализатор. Броят на неутроните, преминали през намагнитения слой, зависи линейно от крайната z-компонента на поляризацията и служи за измерване на натрупаната по времето на прецесия фазова разлика. На Фиг. 2. е показан принципът на метода на Рамзей с разделени осцилиращи полета, а на Фиг. 3. е показана резонансната крива - зависимостта на броя неутрони, преминали през анализатора в края на измервателния цикъл, от честотата на приложения импулс. При прилагане на електрическо поле паралелно на магнитното поле и при наличие на ЕДМ на неутрона, резонансната крива



получава изместване на честотата  $\delta \nu_0$  (3). Чувствителността на експеримента по измерване на ЕДМ се определя от

$$\sigma_{\text{ЕДМ}} \approx h/2\pi a E_0 T_s \sqrt{N} \quad (6)$$

където  $a$  е наклонът на резонансната крива,  $E_0$  е интензитетът на електрическото поле,  $T_s$  времето на прецесия на неутроните в камерата и  $N$  е броят на неутроните след завършване на измервателния цикъл. Тази чувствителност съответства на фундаменталната граница, определена в съответствие с принципа на неопределеност на Хайзенберг. Полуширината на резонансната крива е обратнопропорционална на времето на прецесия на неутроните и използването на УСН, при които може да бъде реализирано стотици секунди време на прецесия, е решаващ фактор за повишаване на чувствителността на експеримента.



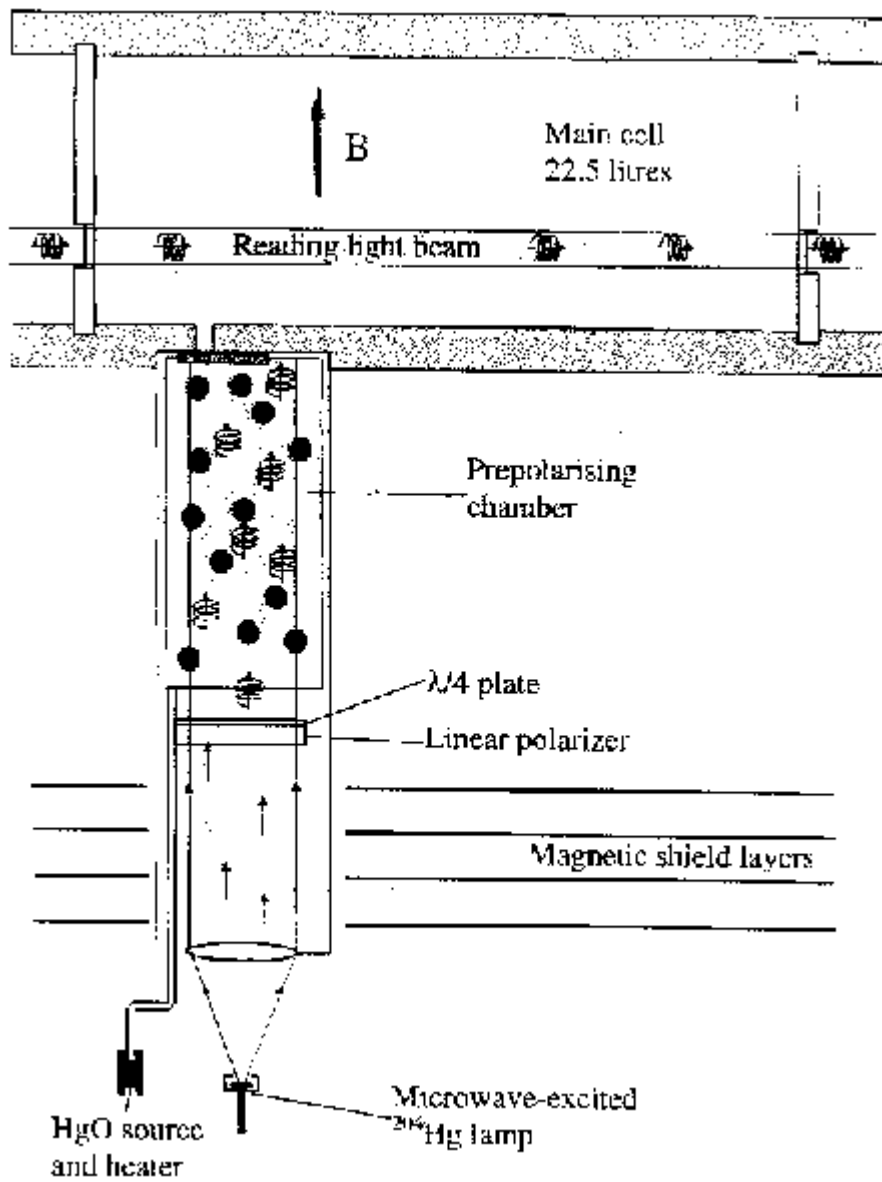
Фиг. 3. Резонансна крива на Рамзи

Постоянното магнитно поле се поддържа с голяма точност и целият експеримент е защитен със система от магнитни екрани от измененията на външното магнитно поле. Независимо от всички предпазни мерки винаги съществува дрейф на магнитното поле и е необходимо да има допълнителен и независим от неутроните магнитометър, за да се различи магнитно-индуцираното изместване на резонансната линия от свързаното с ЕДМ. В различните експерименти до 1990 г. бяха използвани допълнителни магнитометри на базата на прецесия на Rb и Cs в магнитно поле, като измервателните

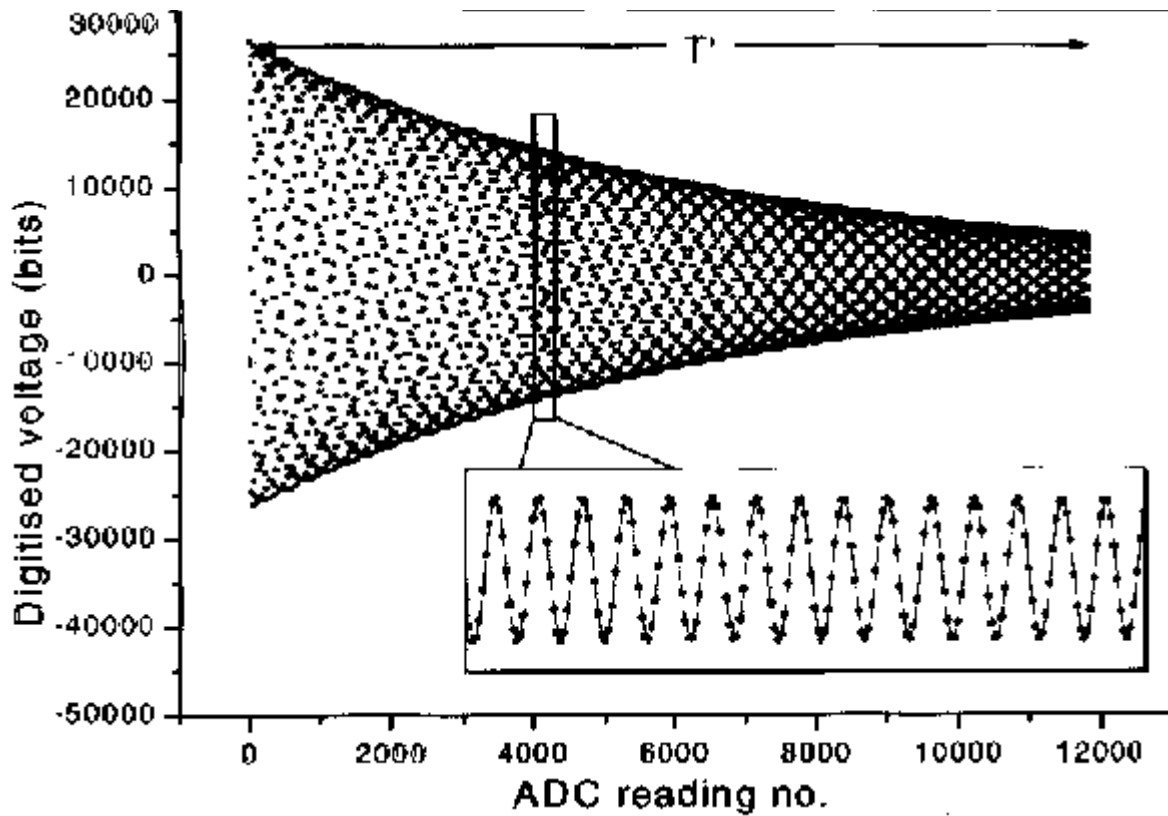
датчици бяха поставяни около неутронната камера. В експеримента в Института Лауе-Ланжвен в Гренобъл, Франция, за първи път бе разработен магнитометър на базата на  $Hg^{199}$ . Неутроните и атомите на  $Hg^{199}$  измерват постоянното магнитно поле в един и същи обем и в един и същи времеви интервал. Живачният магнитометър работи с няколко пъти по-голяма точност от неутронния и това позволява да бъдат коригирани флуктуациите на магнитното поле в неутронната камера.

## 5. ЖИВАЧЕН МАГНИТОМЕТЪР ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА МАГНИТНО ПОЛЕ В НЕУТРОННАТА КАМЕРА

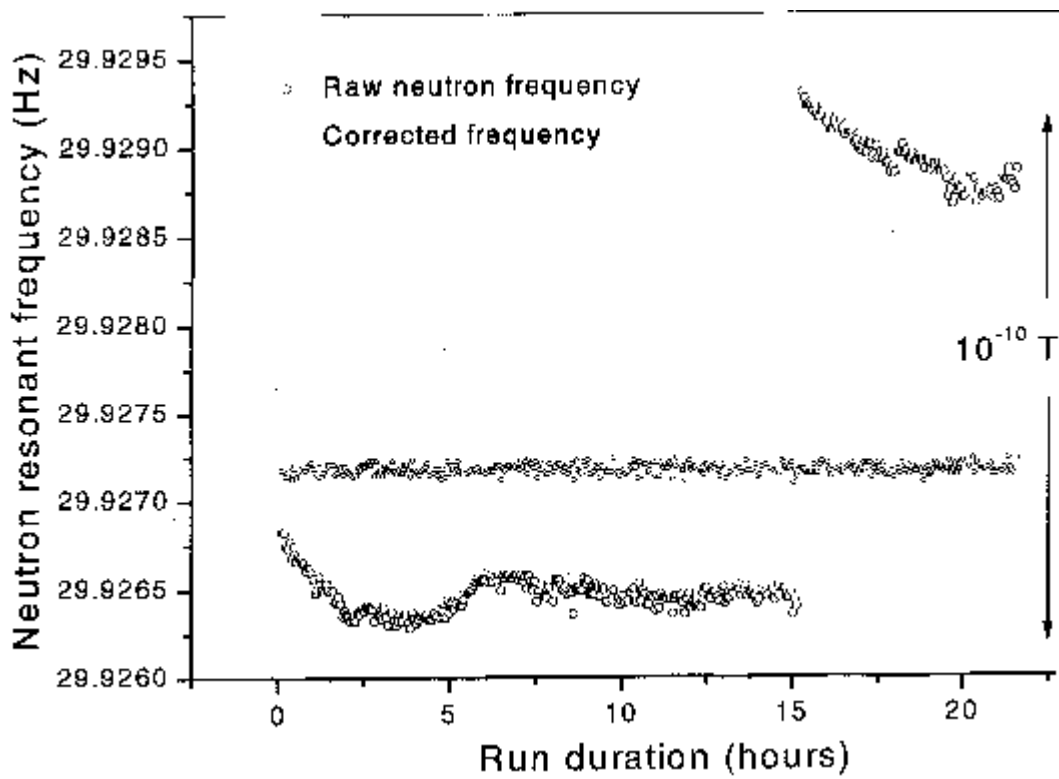
Живачният магнитометър се състои от две части - преполяризираща камера и основна част, която съвпада с неутронната камера (Фиг. 4). В преполяризиращата камера, която се намира в едно и също постоянно магнитно поле с неутронната камера (10 mG), се поляризират атомите на  $Hg^{199}$  с помощта на сноп от циркулярно поляризирани фотони с дължина на вълната 254 nm. След запълването на неутронната камера с УСН се отваря за 2 s клапан към преполяризиращата камера и живачните атоми запълват неутронната камера. След запълването на камерата с живачни атоми и неутрони, поляризирани антипаралелно на магнитното поле, се подава радиочестотен импулс с честота 8 Hz, съответстващ на честотата на прецесия на живачните атоми в поле 10 mG. Амплитудата на импулса е подбрана така, че векторът на поляризацията на атомите да се отклони на  $\pi/2$  и да прецесира в равнина перпендикулярна на  $B_0$ . За регистрирането на честотата на прецесия при живачния магнитометър, камерата се просветва с циркулярно поляризирана светлина с дължина на вълната 254 nm и преминалата светлина се регистрира с фотоумножител. Когато векторът на поляризация е паралелен на снопа светлина, поглъщането на фотоните от поляризираните атоми на  $Hg^{199}$  е максимално, а при антипаралелна позиция поглъщането е минимално. Сигналят който се регистрира от фотоумножителя е показан на Фиг. 5. Амплитудата на сигнала от фотоумножителя спада по време на прецесията поради деполяризацията на живачните атоми при взаимодействието им със стените на камерата. След края на измервателния цикъл се отваря неутронният клапан на камерата, неутроните изтичат и се регистрират в детектор, а живачните атоми също напускат камерата. По този начин в началото на всеки измервателен цикъл неутронната камера се запълва с нова порция поляризирани живачни атоми от преполяризиращата камера. Точността на определяне на честотата на прецесия е около  $10^{-9}$  G за 100 s време на прецесия. За същия измервателен цикъл точността на "неутронния" магнитометър е  $3-4 \cdot 10^{-9}$  G. На Фиг. 6. е показано 24-часово измерване на магнитното поле чрез честотата на прецесия на неутроните. Вижда се дрейфа на магнитното поле и рязко изменение на полето ( $10^{-7}$  G) при придвижване на товарния кран в залата на реактора. На същата фигура е показана и коригираната със сигнала от живачния магнитометър резонансна честота на неутроните. Вижда се, че и при резки изменения на магнитното поле живачният магнитометър може да бъде използван успешно.



Фиг. 4. Живачният магнитометър



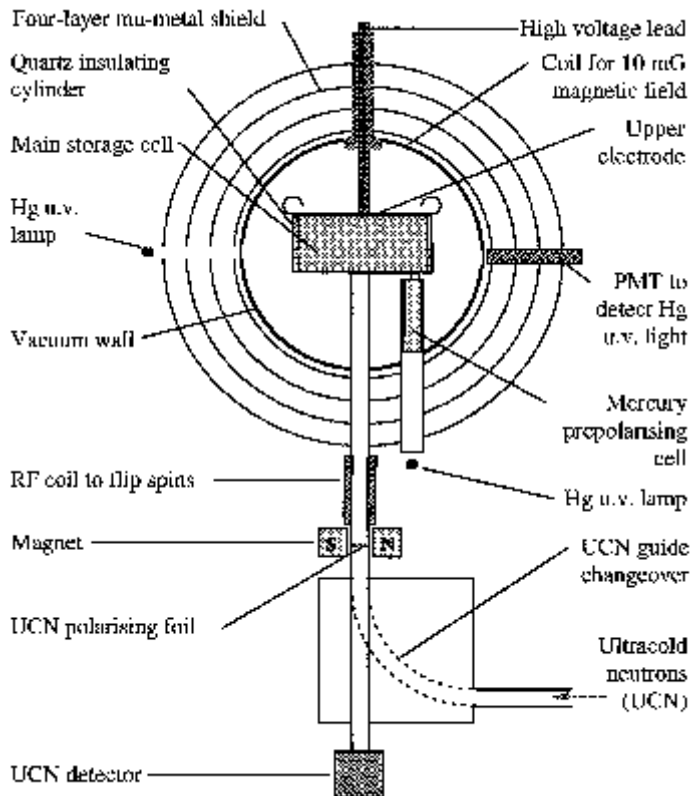
Фиг. 5. Живачна спинова прецесия



Фиг. 6. Корекция на отклонението на магнитното поле

## 6. ОПИСАНИЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗМЕРВАНЕ НА ЕДМ НА НЕУТРОНА В ИЛЛ - ГРЕНОБЪЛ

На Фиг. 7. е показана схема на експеримента по измерване на ЕДМ на неутрона в Институт Лауе-Ланжвен (ИЛЛ). Експериментът се реализира в сътрудничество между Института Лауе-Ланжвен, Лабораторията Ръдърфорд и Съсекския университет в Англия. Неутроните със скорост около 50 m/s се получават от източник на студени неутрони - камера с течен деутерий, разположена до активната зона на 58 MW изследователски реактор. Чрез Доплер-ефект скоростта им се понижава до скоростта на УСН при отражение от лопатките на въртяща се турбина. Преди навлизането си в камерата УСН преминават през железен слой (дебелина 1 m ), поставен в силно магнитно поле, и се поляризират. След това с помощта на водещо магнитно поле те преминават през защитните екрани и навлизат в камерата, поставена в 10 mG постоянно вертикално поле. Направлението на вектора на поляризация следва направлението на водещото магнитно поле, което е ориентирано така, че при навлизане в камерата неутроните са поляризирани антипаралелно на постоянното магнитно поле. Камерата се състои от кварцов цилиндър с диаметър 50 cm и височина 20 cm и два електрода от алуминий с покритие от графитен диамантоподобен слой. След запълването на камерата с неутрони се отваря клапанът на преполяризиращата камера на живачния магнитометър и камерата се запълва с поляризирани живачни атоми. Прилагат се последователно радиочестотни импулси за живачните атоми (8 Hz) и за неутроните (30 Hz). За около 100 s след това атомите и неутроните прецесират в магнитното поле. В края на измервателния цикъл се отваря неутронният клапан и неутроните преминават отново през поляризиращия слой, който работи като анализатор, и след него се регистрират в детектора. Този измервателен цикъл се повтаря много пъти, като на горния електрод се подава около 100 kV постоянно напрежение. Посоката на електрическото поле се променя през 1 час чрез промяна на полярността на напрежението на горния електрод. Чувствителността на експеримента за 200 s измервателен цикъл е около  $5 \cdot 10^{-24}$  e.cm. Полученото досега ограничение на ЕДМ на неутрона е  $d_n \leq 6 \cdot 10^{-26}$  e.cm и крайната цел на този експеримент е да бъде постигната оценка до  $1 \cdot 10^{-26}$  e.cm до края на 2000 г.



Фиг. 7. Схема на експеримента по измерване на ЕДМ на неутрона в Институт Лауе-Ланжвен

Основните систематически ефекти, имитиращи ЕДМ, са свързани с електрическият ток по повърхността на кварцовата камера при прилагане на високо напрежение и  $\vec{v} \times \vec{E}$  ефект. При прилагане на 100 kV напрежение електрическият ток по повърхността на камерата се поддържа по-малък от 10 nm - такъв ток дори и по затворена крива по повърхността не може да имитира ЕДМ по-голям от  $1 \cdot 10^{-26}$  e.cm. В първи порядък ефектът  $\vec{v} \times \vec{E}$  се занулява поради геометрията на експеримента, но във втори порядък този ефект може да имитира ЕДМ и това е фундаментално ограничение за експеримента на ниво  $1 \cdot 10^{-27}$  e.cm.

## 7. ПРОЕКТИ ЗА СЛЕДВАЩИ ЕКСПЕРИМЕНТИ ПО ИЗМЕРВАНЕ НА ЕДМ НА НЕУТРОНА

Възможността за повишаване на чувствителността на експеримента (6) е свързана с увеличаване на наклона на резонансната крива (a) интензитета на магнитното поле (E) и плътността на УСН в камерата (N). Съществува предложение за експеримент в лабораторията в Лос-Аламос, САЩ, в което е формулиран нов метод за получаване на УСН чрез разсейване на студени неутрони в течен хелий. Предполага се драматично - 1000 пъти увеличаване на плътността на УСН. Предлага се и целият експеримент да се разположи в криостата с течен хелий, което ще улесни и прилагането на високо напрежение. Това предложение е на границата на съвременните технологични възможности и все още не е реализирано. Обещаната точност е  $1 \cdot 10^{-28}$  e.cm.

Сътрудничеството между ИЛЛ, Лабораторията Ръдърфорд и Съсекския университет в Англия и Университета в Майнц, Германия, работи по проект за създаване на допълнителен магнитометър на база на  $\text{He}^3$ , което позволява увеличаване на  $a$ . Същото сътрудничество с помощта на лабораторията КЕК в Япония разработва на базата на американското предложение и отделен нов източник на УСН с повишена плътност - до  $1000$  неутрона/ $\text{cm}^3$ . Очакваната точност е  $10^{-27}$  е.см.

Достигнатата до момента точност от  $6 \cdot 10^{-26}$  е.см е далеч от предсказанията на стандартния модел -  $10^{-32}$  е.см (Фиг. 1.). За предсказанията на различни теории, разширяващи и коригиращи стандартния модел, повишаването на точността дори и няколко пъти може да бъде решаващо. Възможностите на новите технологии в областта на получаването на УСН, физиката на повърхнината и измерването с висока точност на магнитни полета създават възможности за нова серия експерименти по измерването на ЕДМ на неутрона.

# ФИЗИКАТА НА ГРАНИЦАТА НА ДВЕ СТОЛЕТИЯ

**Иван Лалов,**

проф. дфзн, Физически факултет на СУ Св. Климент Охридски

## УВОД

Схоластичните спорове по въпроса Кога завършва 20-ти век - през 1999 г. или през 2000 г. затихнаха с едновременното превъртане на четирите цифри на календара на 1.01.2000 г. (което се случи за първи път в историята). Двехилядната година се оказа като предишните - наследила от тях политически, социални и хуманитарни проблеми и начало на нови проблеми. Остана, обаче, желанието да се направи обща равностметка на изминалите 100 години и да се надникне в двадесет и първия век. Такъв опит в областта на физиката ще бъде предмет на настоящия доклад.

Двадесети век е трудно време в историята. Две големи войни, най-кръвопролитните досега, непредвидимото нарастване на населението на Земята и произтичащите от това проблеми, неуспешният исторически експеримент на реалния социализъм, обхванал много страни - това са големите негативи на столетието. В същото време двадесети век донесе непредсказуемо развитие на икономиката и техниката, подобряване качеството на живота на голям процент от населението в много страни, елиминирането на голямата война от живота на обществото през втората половина на века, компютрите и астронавтиката, чрез която човек стъпи на Луната - това са най-важните положителни черти в човешкото развитие.

От многото характеристики на века за нас особено съществена е век на физиката. Не е само невероятното развитие на нашите познания за света в тази толкова вълнуваща наука. Постиженията на физиката промениха живота на човечеството и живота на всеки отделен човек. Нека за момент си представим началото на века, показано на старите филмови ленти, и като го сравним със сегашното, да потърсим влиянието на физиката върху развитието на техниката и бита. От изучаването на електромагнетизма в началото на века се е родила електротехниката, но вече следват радиотехниката, изследванията на рентгеновите лъчи и тяхното приложение в диагностиката, разцепването на атомното ядро и приложенията на атомната физика. Именно развитието на атомната и ядрена физика направи възможно конструирането на атомна и водородна бомба, които изключиха голямата война (поне засега). През втората половина на века физиката създаде лазерите и те навлязоха в науката и бита. Революцията в елементната база на електрониката е продукт на физиката на твърдото тяло и сама породила компютърната революция на човечеството.

Още по-силно влияние оказва развитието на физиката върху човешкото познание. Цялата наука - и природните и хуманитарните клонове - под влияние на физиката премина от класическото мислене, доминирано от "очевидността" на обкръжаващия ни свят, към квантовия подход на допълнителност, абстрактност, богатство и взаимно проникване на идеите. Силното развитие на експерименталните методики във физиката разшири възможностите за тяхното използване във всички природни и технически науки. Успехът на математичните методи във физиката причини раждането на нови математични структури, но също - амбициите да се математизират и така да станат по-



ефективни биологията, икономиката, лингвистиката. Последната третинка на века постави на научни основи фундаменталния въпрос за развитието на Вселената като цяло от времето на Големия взрив и в бъдеще.

Не е истинска, обаче, картината на физиката само в розови тонове. Именно в края на столетието, когато физиката можеше да празнува своя триумф, се проявиха редица нови обстоятелства, частично предизвикани и от нейното собствено влияние. За щастие студената война свърши, но много богати страни ограничиха финансирането на фундаменталните изследвания, като прагматично насочиха средства в области, от които може да се очакват непосредствени социални ефекти. Очевидно по-перспективна за човечеството се оказва вече биологията с изследване и контролиране на процесите в живата материя (макар като източник на основополагащи научни идеи и принципи физиката да запазва своето място сред природните науки). Най-сетне физиката не е толкова привлекателна за младите хора като бъдеща кариера - тя е трудна наука, която не вещае личен финансов възход. Съответно, промени се мотивацията за изучаването на физиката от бъдещите физици, както и от всички ученици и студенти.

През последните години физиците-професионалисти решават принципни въпроси - как по-икономично да планираме и откъде да намерим финансиране за научните изследвания, какво и как да преподаваме на учениците и студентите, няма ли и други пътища за реализация на способностите и възможностите на физиците.

На границата на две столетия общи доклади като настоящия неизбежно съдържат две части: историческа част за физиката през 20-ти век, която ще се постарая да не съдържа носталгия, и сегашния статус на изследванията и практиката на физиката като прозорец към бъдещото столетие.

## **ФИЗИКАТА ПРЕЗ ЧЕТИРИТЕ ЧЕТВЪРТИНКИ НА 20-ТИ ВЕК**

### *1. Първа четвърт на столетието*

Физиката на 20-ти век се ражда на 15.12.1900 г. - деня на лекцията на Макс Планк в Берлинската академия, посветена на закона за излъчването на абсолютно черно тяло. Това е рожденият ден и на квантовата физика. Квантовата физика не е търсена, нито желана от учените. Планк почти се извинява за своята хипотеза за излъчването на фотони и я обосновава единствено с необходимостта да се обяснят експерименталните факти. Извикана в научния свят от необходимостта да се опишат процесите на излъчване и поглъщане на светлината, квантовата физика всъщност е онази врата, която води в явленията на микросвета - атома, атомното ядро, елементарните частици (и, може би малко неочаквано, към разбиране законите на структурата на кондензираната материя, а сега и към Стандартния модел за развитие на Вселената). Основните идеи на квантовата физика се формират до края на тази първа четвърт на столетието. Като се има предвид тяхната фундаментална новост, сравнени с идеите на класическата физика, а също невероятното въздействие върху цялото човешко познание, това е голяма крачка, реализирана в много къс период.

В началото на века се ражда и втората теория - идейна основа на съвременната физика - Теорията на относителността. Непосредственият въпрос, на който е търсен отговор почти 25 години - след опита на Майкелсън-Морли (1881 г.), е как са свързани помежду си отправните системи, така че уравненията на Максвел да имат един и същи вид във

всяка от тях, т.е. електромагнитните явления да протичат по един и същ начин за всеки наблюдател от движещите се едно спрямо друго тела. Теорията на относителността възниква като резултат от усилията на цяло поколение учени (Лоренц, Фитцджералд, Поанкаре), но нейната най-адекватна формулировка е дадена от Айнщайн и съдържа радикална промяна на нашите схващания за пространството и времето. Именно така, като по-нататъшно развитие на тази концепция, се създава през 1915 г. Общата теория на относителността - база на съвременните космологични теории, а изискването за релативистка инвариантност, т.е. съгласуване с изискванията на теорията на относителността, се поставят пред всяка съвременна теория за микросвета. В развитието на космологията още през първата четвърт на 20-ти век ще спомена и концепцията на съветския физик Фридман за разширяващата се Вселена (1922 г.).

Физиката - тази важна природна наука, предмет на академичен интерес на ограничен кръг професионалисти - застава в обектива на общественото внимание след края на Първата световна война при проверката на Общата теория на относителността чрез наблюдаването на слънчево затъмнение през 1919 г. Положителният отговор, който дават наблюденията - светлинният лъч се отклонява в гравитационното поле на Слънцето на ъгъл  $1,75''$  - потвърждава теорията на Айнщайн, който става световна знаменитост. Оттук нататък повече от половин век световните медии, автори на книги, театрални пиеси и филми ще търсят физиците за отговор на важни за човечеството въпроси, а също - като интересни личности, които задават модели на мислене, на отговорност и дори на поведение.

През първата четвърт на 20-ти век се случват и две други научни събития, призвани да дадат богати резултати: през 1917 г. Айнщайн предсказва стимулираното излъчване, основа на работата на лазерите. През 1923 г. канадският физик Ленгмюр дава дефиниция на най-разпространеното състояние на веществото - плазмата. По това време плазмата е един страничен за физиците обект.

## ***2. Втора четвърт на 20-ти век***

През вторите 25 години най-важният резултат от изследванията по физика е разцепването на атомното ядро и, специално, откриването на верижното делене на урана, съпроводено с отделяне на значителна енергия. Тези открития са големи стъпки в разбирането на строежа на материята. Те направиха възможни големи военни проекти за производството на атомни бомби (САЩ, Германия, СССР). Ролята на физиците в тези проекти бе решаваща. Още през 40-те години атомната бомба бе "изпитана" над Хиросима и Нагазаки. Като резултат от изследванията на термоядрения синтез на леки ядра бе разбрана тайната на енергията на звездите и Слънцето, а в самото начало на 50-те години бяха конструирани водородните бомби.

През втората четвъртинка на века квантовата физика беше достроена като идейна концепция и приложена в различни области на физиката. Това развитие направи възможно, заедно с развитието на рентгеноструктурния анализ, разбирането и изследването на твърдите тела (по-общо, на кондензираната материя) като макроскопични квантови структури. Върху познанията ни за кондензирани среди бяха базирани новите етапи в развитието на елементната база на електрониката (транзистори, интегрални схеми) и оптиката (луминесцентни материали, светодиоди, твърдотелни лазери).

Откриването на позитрона, неутрона, неутриното, мезоните и други елементарни частици през 30-те и 40-те години поставиха на дневен ред въпроса за класификацията и структурата на следващите градивни елементи (след атома, електроните, атомните ядра) на материята. Между забележителните постижения през втората четвърт на столетието ще споменем откриването на електронния микроскоп - голям успех на експерименталната техника. Действителното разбиране на възможностите на електронния микроскоп, специално неговата голяма разделителна способност, се основава на вълновите свойства на електроните, един важен аспект на квантовата теория.

### ***3. Третата четвърт - златното време на физиката***

През 50-те години физиката се оказа в центъра на обществените очаквания. От една страна студената война изискваше нови оръжия и усъвършенстване на съществуващите. Голяма част от "героите" от секретните центрове бяха физици и извършваха щедро субсидирани научни изследвания и военно-технически разработки. От друга страна от физиката се очакваха решения за проблемите на енергетиката (атомна енергетика, управляем термоядрен синтез), на съобщителната техника и др. Накрая от физиката се очакваха фундаментални открития за разширяване на човешкото знание.

През това време бяха построени огромни ускорители и бяха реализирани скъпи и важни международни проекти в областта на физиката на високите енергии. Невероятното разширяване на познанията за елементарните частици доведе до създаване на кварковия модел и до нови открития на негова основа (макар че, както се изясни по-късно, отделни кварки не могат да се наблюдават).

Развитието на физиката на кондензираната материя доведе до революция в материалознанието и в електрониката - използването на интегрални схеми промени радио- и телевизионната техника, научната апаратура, направи възможно израстването на материали с отнапред зададени свойства и създаването на компактни компютри.

В оптиката най-революционната стъпка бе създаването на източници на кохерентно лъчение - лазерите (1961 г.). За едно десетилетие през 60-те години бяха конструирани лазери за различни дължини на вълните, основаващи се на различни физически принципи и намерили множество приложения в науката, техниката и битата. Развитието на квантовата електроника позволи да се говори за "лазерна ера" във физиката и комуникациите.

Третата четвъртинка на века бе време на изключително интензивно развитие на физиката на плазмата, която се превърна в една от основните области на физиката не само поради широкото разпространение на плазмата в звездните недра и в междузвездното пространство. Основната причина беше интересът към реализиране на управляем термоядрен синтез. Тази принципна възможност бе изяснена в края на 40-те години и примагнитната перспектива да се реши енергийният проблем на човечеството представлява предизвикателство към физиците досега. Решаването на този проблем минава през дълбоко разбиране и управляване на процесите във високотемпературна и достатъчно плътна плазма.

Изследванията по управляем термоядрен синтез показват истинската стойност на научния прогрес - много десетилетия интелектуални усилия на висококвалифицирани учени и сериозни субсидии.

Времето на 50-те и 60-те години донесе забележителни открития, от които ще спомена:

а/ ефекта на Мьосбауер - най-точната методика за измерване на величина във физиката;

б/ теорията на Бардин-Купър-Шрифър за теоретично разбиране на свръхпроводимостта върху основата на квантовата теория на твърдото тяло;

в/ холографията - методика за обемна фотография, а също - за компактен оптичен запис на информация;

г/ откриването на реликтовото лъчение, което наред с червеното отместване, потвърди и позволи да се развие теорията за Големия взрив като основна космологична концепция.

Вероятно най-важното събитие за човечеството през третата четвърт на века бе стъпването на човек на Луната - през 1969 г. Това е епохално постижение на цялата човешка наука и техника (не само на физиката), реализирано от американската програма "Аполо".

#### ***4. Краят на века***

Последната четвъртинка на 20-ти век е време на триумф на компютрите, мощни и приложими във всеки клон на науката. Това промени експерименталните и теоретичните изследвания във физиката и дори се роди новата методика на компютърната физика. Използването на компютрите направи невероятно по-ефективни изследванията във физика на високите енергии, в спектроскопията, в наблюдателната астрономия и другаде.

Може би най-впечатляващ през последните две десетилетия е успехът на квантовата хромодинамика като общоприет модел за структурата на материята. Кварковият модел е потвърден с откриването на почти всички типове кварки, а в последно време на кварк-глюонна плазма.

Неизменно резултатите от физиката на елементарните частици се прилагат в космологията за развитие на теорията на Големия взрив. Нови експериментални факти, получени от спътниковия телескоп "Хабъл" и отнасящи се до наблюдаване на свръхдалечни галактики във времето "на тяхната младост" - потвърждават теорията за разширяващата се Вселена и дори извода, че това разширяване няма да бъде последвано от цикъл на компресия.

През 1986 г. бе открита високотемпературната свръхпроводимост в керамики (купрати). Това откритие е илюстрация на възможностите да се провеждат целенасочени научни търсения в науката, продължили в тази област почти четвърт век. Интересът към свойствата и механизмите на този нов тип свръхпроводници бе огромен в продължение на цяло десетилетие. Надеждите за бързо намиране на поле на

приложимост на тези материали се оказаха прибързани. Търсенето на още по-високотемпературни свръхпроводници продължава.

Изследванията на управляемия термоядрен синтез с неотклонна последователност бяха доведени през 90-те години до прага на енергетичната ефективност (европейски програми със системи от типа "Токамак"). До промишленото използване за получаване на евтина енергия остават още множество стъпки - чисто научни и практически. Това, вероятно, ще продължи през първите няколко десетилетия на следващия век.

Последната четвърт на века бе триумф на нелинейната физика, изследвана в теоретичен и експериментален аспект. Свойствата и проявите на различни типове солитони обхващат области от метеорологията до оптиката. Подобна широка обхватност имат и другите прояви на нелинейностите - турбулентност, хаос, самоорганизация на сложни системи. И любопитно и перспективно е приложението на нелинейните явления и закономерности в икономиката - една нова контактна точка на физиката с друга наука.

Във физиката на кондензираната материя се премина към изучаване на все по-сложни системи - от физиката на повърхностите и бозе-кондензация на хелий, към мезоструктури (с размери около 10  $\mu$ , превишаващи сто пъти атомните и също толкова пъти по-малки от макротелата), нови обекти като фулерени, нанотръбички и др.

През 80-те години Сенатът н САЩ спря финансирането на проекта за Свръхпроводящия суперколайдер и това е сигурен знак за ограничаване на финансирането на научни изследвания, насочени към тясно научни проблеми. Именно в последните десетилетия физиката престана да бъде "галената наука", към която се обръщаха любопитните погледи на околните. Макар интересът в обществото към научните открития на физиката и астрофизиката да се запазва достатъчно висок, сега научните сензации са свързани с овцата Доли (клонирането) и с разшифроването на човешкия ген.

Но по-широката оценка показва, че физиката в края на хилядолетието е много развита научна система, която решава сложни задачи от научен и практически характер и създава важна част от информираността, интелектуалния багаж и дори културата на съвременника. Именно това прави обучението по физика сложно и необходимо.

### ***5. Сегашият статут на физиката***

Няма скокове, няма прекъсване на научното развитие. От най-важните проблеми, изследвани в края на века, които ще се пренесат в следващия век, аз вече споменах квантовата хромодинамика, стандартния космологичен модел, управляемия термоядрен синтез, високотемпературна свръхпроводимост, проблемите и приложенията на нелинейната физика.

Според Стивън Хокинг съществува 50 % вероятност през следващите две десетилетия да се създаде пълна теория на свръхобединението (т.нар. теория на всичко). Във вижданията на физиците-теоретици тя трябва да включи в единен модел Общата теория на относителността и квантовата физика, като обхване всички известни взаимодействия - електрослабото (което обединява в единно поле електромагнитното и слабото взаимодействие), ядреното и гравитационното. Тази теория ще се отнася до т.нар. квантова гравитация и по всяка вероятност ще третира дискретна структура на

пространството и времето (а не непрекъсната). Пълната теория трябва да включва известните теоретични модели на елементарните частици и да описва развитието на физическите процеси след Големия взрив. Отделни части на теорията вероятно съществуват в сегашната теоретична физика (теория на суперструните). Решаването на тази грандиозна задача няма да доведе до края на теоретичната физика, а до ново начало на изследвания, подобно на създаването на механиката на Нютон, електродинамиката на Максвел, уравненията на Айнщайн.

Друга грандиозна задача на изследователите-физици, по която може да се очаква съществен прогрес, е изследване поведението на сложни системи, включително нелинейните особености на сложни и реалистични модели на метеорологични явления, икономически кризи, самоорганизация на живите организми. Използването на все по-мощни компютри позволява да се очаква решаване на проблемите на възникване и развитие на турбулентност, на катастрофите, нови приноси в теорията на хаоса.

Овладяването на нанотехнологиите ще бъде хардуерът на бъдещата информационна революция. Израстването - повече или по-малко контролируемо - на отделни елементи с размери 10 nm е в границите на възможното за съвременната технология. Проблемът е това да става без статистически грешки и да се осигури сигурна функционална връзка между тези елементи. Нанотехнологиите ще направят компютрите по-компактни и, вероятно, по-евтини и по-мощни, така че да могат да решават научни и технически задачи несравнимо по-сложни от сегашните. Тук е мястото да спомена и за две други линии на развитие:

а/ молекулярна електроника - в нея ролята на отделен елемент ще играе една единствена молекула, която реагира и съхранява информацията от един байт;

б/ квантовите компютри, основани на квантови закони и квантови комуникации (чрез квантово телепортиране?), които осигуряват свръхбързо действие.

В астрофизиката нови открития стават и в последните години. Невероятно е разширяването на обхвата на наблюдателните методики - рентгенова и  $\gamma$ -астрономия, неутринна астрономия и др. На дневен ред е наблюдаването на гравитационните вълни, преследвани с най-съвършени методики през последните 35 години. Новите открития ще обхванат неизвестни на науката обекти и процеси, дори близки по време до Големия взрив. Много е възможно именно астрономичните данни да позволят проверка на споменатата "теория на всичко", а също - по необходимост да наложат промяна на нашите основни принципи.

Вероятно, най-интригуващ в професионален план е бъдещият приоритет физика или биология. Физиците приемат като нещо естествено именно физиката да съсредоточава обществения интерес. В сегашния момент физиката продължава да създава научна перспектива и научни продукти, без които обществото не може. Но то още повече се нуждае от научните продукти на биологията, които имат решаваща роля за качеството на живота. Затова доминантният обществен интерес е изместен към биологията, която повече от половин век внедрява и използва методите на физиката, квалификацията на физиците, научната заинтригуваност на най-силни представители на физиците. Молекулярната биология е само една област, в която физическите методи са плодотворни и която вероятно ще роди нови технологии подобни на нанотехнологиите. Изключително интересен е въпросът ще бъдат ли необходими нови принципни

закономерности, освен известните от физиката, които да обяснят живота, или основните квантовомеханични, статистически, нелинейнофизични закони и др. закони са достатъчни, но трябва да се приложат към сложни системи като живите организми. Научното разглеждане на сложни системи чрез използване на закономерностите, които се отнасят към по-прости обекти, се нарича редукционизъм. Интуицията на немалко физици подсказва, че редукционизмът има своите основания, т.е. известните физически принципи са достатъчни за изследване и на биологични структури. Руският физик Гинзбург смята, че решаващ експеримент ще бъде създаването на “живот в епруветка” от органични неживи материали.

Като разглеждаме сегашния статут на физиката, ние неизбежно стигаме до съотношението фундаментални изследвания и приложения в края на века. Стимулирани от огромното развитие на физиката и от нейната революционна роля за техниката, човешките общества през 20-ти век финансираха и двете линии, близки, но паралелни: задоволяване на любопитството на човека за нови знания и приложенията на тези знания. Сега първата линия се ограничава и, например, Европейският съюз се стреми да достигне прагматичността на американската наука, много по-силно насочена към приложенията. Затова основна цел на Петата рамкова програма е “получаване на европейска принадлежна стойност” от научните изследвания, която да промени положително живота на европейца. Тази тенденция ще оказва силно, и, вероятно, здравословно влияние върху физиката през 21-ви век.

## ***6. Обучението по физика***

Обучението по физика в средните и висши училища, вкл. обучението на самите физици, следва обществения интерес към физиката. Интересът към физиката съответства също на влиянието на физическите науки върху цялото човешко знание - философия, технически науки, биология, химия.

В началото на века физиката се изучава сериозно, но като малко популярна и трудна наука (всъщност физиката на всички нива изисква сериозни интелектуални усилия във всички времена). С популяризирането и развитието на физиката като основна природна наука в средата на века тя е желана и търсена като част от информационния багаж и от културата на всеки интелигентен човек. По това време физиката е желана като кариера от немалко млади хора с нагласа към математиката и природните науки. В гимназиите се преподава голям обем от познания по отделните клонове на физиката и практически във всички страни се проявява стремеж към преподаване на систематичен курс по физика, чрез който да се изгради т.нар. единна физическа картина на света и да се демонстрира силата и красотата на системата на физиката. Това е възможно при едно необходимо условие: ученикът и студентът трябва да са готови да инвестират значителни усилия в овладяването на тази интересна наука.

Реалността през 2000-та година е отражение на една световна тенденция от последната третинка на века - наблюдава се относителен отлив на интереса към природните науки за сметка на повишаване на интереса към хуманитаристиката. Не бива да се смята, че тази тенденция е тотална - и сега много млади хора виждат своята реализация в информатиката и в природните науки - физика, химия, биология. Моите дългогодишни наблюдения във Физическия факултет на Софийския университет показват един почти неизменен брой надарени студенти, които могат и желаят да се занимават с физика на равнището на съвременната наука. Сега е намалел броят на следващата категория

студенти, които виждат във физиката своята кариера, не непременно научна, и полагат сериозни усилия да усвоят нейните основи.

Това налага да се промени и подходът при преподаването на физиката в средните училища и в Университета. Стремешът към излишна абстрактност и системност е вреден. На Европейски семинар на председателите на физически дружества в Англия (1999 г.) бе зададен въпрос, който може да изглежда еретичен: “Можем ли да разчитаме да привлечем младите хора сега чрез механика от 17-ти век и електродинамика от 19-ти век?”. Необходимо е да се демонстрира красотата на явленията, фактите и идеите. Необходимо е да се показва разбираемостта и привлекателно лице на физиката, макар съвременната физика да става все по-малко нагледна. Демонстрациите и понятият разказ винаги могат да заинтригуват даже ученици и студенти, които не са склонни да изучават физика.

Проблемите пред учителите и преподавателите по физика от университетите е не са само български, а и световен. Той опира до необходимостта преподаването на физиката за инженери, медици, биолози да се свърже с нуждите на тяхната бъдеща професия и с нивото на тяхната подготовка.

Същите проблеми за по-тясна връзка на учебните планове с бъдещите нужди и на професионалистите-физици са обект на дискусия навсякъде.

## **Заклучение**

На границата на две столетия физиката представлява силна наука със своите неоспорими резултати, с проблеми и с перспективи. Сега физиката си поставя мащабни задачи, които търсят отговор на фундаментални въпроси - свръхобединение, развитие на Вселената като цяло, квантови комуникации, физиката и животът. След едновековното развитие на модерната физика, последвало няколковековното развитие на класическата, прогнозите и оценките са оптимистични - понякога изглежда, че едва сега започваме да се оглеждаме в света около нас.

И въпреки това на нас, физиците, твърде често ни е неуютно в света на 2000 година. Нищо особено. Животът ни напомня, че не е нито много хубав, нито много лош. Животът е интересен. В човека е заложено вечно любопитство към света и вечен интерес към неговите закони. Физиката има неизменната задача да отговаря на тези интелектуални нужди на хората и, от друга страна, да променя техния живот.

Надявам се, че в този доклад съм успял да поднеса част от оптимизма за бъдещето на физиката и физиците, който се утвърди в схващанията на автора при опита да се обхване тази наука на границата на две столетия.



# ОБЩА ТЕОРИЯ НА ОТНОСИТЕЛНОСТТА

(без тензорен анализ и диференциална геометрия)

*Игор Хрипович* (водещ научен сътрудник в Новосибирското отделение на РАН)

**Малко история.** Общата теория на относителността (ОТО) е съвременната теория на гравитационното привличане, свързваща я с кривината на четиримерното пространство-време.

В своя, така да се каже, класически вариант теорията на притеглянето е била създадена от Нютон и още от 17-ти век и до днес вярно служи на човечеството. Тя е напълно достатъчна за много, ако не за голямата част от задачите на съвременната астрономия, астрофизика и космонавтика. Но, между другото, нейният вътрешен принципен недостатък е ясен и на самия Нютон. Това е теорията на далечното действие: в нея гравитационното действие на едно тяло върху друго се предава мигновено, без закъснение. Нютоновата теория на гравитацията се отнася към общата теория на относителността както законът на Кулон към максвеловата електродинамика. Максвел успява да изгони далекодействието от електродинамиката. В гравитацията това направи Айнщайн.

Разказът ни трябва да започне със забележителната публикация на Айнщайн от 1905 г., в която той формулира специалната теория на относителността и която в идейно отношение представлява развитие на класическата електродинамика. Тази работа без съмнение има предшественици, сред които не можем да не споменем Лоренц и Поанкаре. В техните статии вече се съдържат много елементи на специалната теория на относителността. Обаче ясното разбиране, цялостната картина на физиката на големите скорости се появява именно в споменатата работа на Айнщайн. Не случайно, независимо че има прекрасни учебници, и днес тази работа може да бъде препоръчана за първо запознаване с предмета не само на студенти, но и на ученици от горните класове.

Що се отнася до ОТО, то всички нейни основополагащи елементи са създадени от Айнщайн.

Впрочем предчувствие, че физиката може да бъде свързана с кривината на пространството може да се намери в трудовете на Гаус, Риман, Хелмхолц, Клифорд. Гаус, който достига до идеите на неевклидовата геометрия малко преди Лобачевски и Бояй, но така и не публикува своите изследвания в тази област, се задоволява със заявлението, че "налага се геометрията да се поставя наравно не с аритметиката, съществуваща чисто *a priori*, а по-скоро с механиката". Чрез точни (за онова време) измервания той се е опитвал да провери експериментално геометрията на нашето пространство. Неговата идея вдъхновява Риман, който предполага, че нашето пространство е изкривено, а на малки разстояния даже дискретно. По астрономични данни Хелмхолц получава твърди ограничения за кривината на пространството са били получени. Клифорд смята материята за "накъдряне" на изкривеното пространство.

Обаче всичките тези блестящи догадки и прозрения са били явно преждевременни. Създаването на съвременната теория на гравитацията е било немислимо без

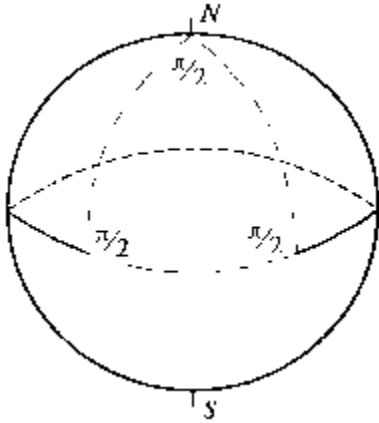
специалната теория на относителността, без дълбокото разбиране на структурата на класическата електродинамика, без осъзнаването на единството на пространство-времето. Както беше споменато, ОТО е създадена основно с усилията на един човек. Пътят на Айнщайн за построяването на тази теория е дълъг и мъчителен. Ако неговата публикация от 1905 г. "Към електродинамиката на движещи се среди" се появява изведнъж в завършен вид, оставяйки извън ползрението на читателя дългите размишления и тежкия труд на автора, то със създаването на ОТО нещата стоят съвсем другояче. Айнщайн започва работа над нея през 1907 г. и тази работа продължава няколко години. Това е път на пробите и грешките, който може да се проследи по публикациите на Айнщайн през тези години. Окончателно задачата е решена в две работи, докладвани на заседанията на Пруската Академия на науките в Берлин на 18 и 25 ноември 1915 г. В тях са формулирани уравненията на гравитационното поле във вакуум и при наличие на източници.

В последния етап от създаването на ОТО участва Хилберт. Въобще значението на математиката (и математиците) за ОТО е много голямо. Неговият апарат - тензорният анализ, или абсолютното диференциално изчисление, е развит от италианските математици Ричи и Леви-Чевита. Приятелят на Айнщайн, математикът Гросман го запознава с този нов дял на математиката.

И въпреки всичко ОТО е физична теория, в основата на която лежи ясен физичен принцип и твърдо установен експериментален факт.

**Принцип на еквивалентността и геометризация на притеглянето.** Този факт по същество е установен още от Галилей. Той е добре известен на всеки добър ученик от горните класове: всички тела се движат в полето на тежестта (при отсъствие на съпротивление на средата) с едно и също ускорение, траекториите на всички тела с дадена скорост са изкривени еднакво в гравитационното поле. Благодарение на това в свободно падащ асансьор никакъв експеримент не може да установи гравитационното поле. С други думи, в отправна система, свободно движеща се в гравитационно поле, в малка област на пространство-времето няма гравитация. Това твърдение е една от възможните формулировки на принципа на еквивалентността.

Посоченото свойство на полето на притегляне съвсем не е тривиално. Достатъчно е да си спомним, че за случай на електромагнитно поле ситуацията е съвършено различна. Съществуват например незаредени, електрично неутрални тела, които въобще не чувстват електромагнитното поле. Докато гравитационно неутрални тела не съществуват, не съществуват ни линейки, ни часовници, които да не чувстват гравитационното поле. Еталоните на обикновеното евклидово пространство се изменят в полето на тежестта. Геометрията на нашето пространство се оказва неевклидова.



Фиг. 1. Сферичен триъгълник.

Някои представи за свойствата на такова пространство могат да се получат с прост пример на сфера - повърхността на обикновен глобус. Да разгледаме сферичен триъгълник върху нея - фигура, ограничена от дъги по големия радиус. (Дъгата на големия радиус, съединяваща две точки върху сферата, е най-краткото разстояние между тях; тя е естествен аналог на правата линия върху плоскост). Да изберем като дъги участъците от меридиани, отличаващи се с  $90^\circ$  дължина, и екватора (фиг. 1). Сумата на ъглите на този сферичен триъгълник съвсем не е равна на  $\pi$ , каквато е сумата на ъглите в плосък триъгълник:

$$\alpha + \beta + \gamma = 3/2\pi. (1)$$

Да отбележим, че стойността, с която сумата на ъглите на дадения триъгълник надвишава  $\pi$ , може да бъде изразена чрез неговата площ  $S$  и радиуса на сферата  $R$ :

$$\alpha + \beta + \gamma - \pi = S/R^2. (2)$$

Може да се покаже, че това съотношение е вярно за всеки сферичен триъгълник. Нека отбележим също, че за триъгълник върху плоскост това равенство също е в сила: плоскостта може да се разглежда като сфера с  $R \rightarrow \infty$ .

Да препишем формулата (2) в следният вид:

$$K = 1/R^2 = (\alpha + \beta + \gamma - \pi)/S. (3)$$

От нея се вижда, че радиусът на сферата може да бъде определен, оставайки върху нея, без да прибъгваме към тримерното пространство, в което тя е потопена. За това е достатъчно да измерим площта на сферичния триъгълник и сумата на неговите ъгли. С други думи  $K$  (или  $R$ ) представлява вътрешна характеристика на сферата. Прието е величината  $K$  да се нарича гаусова кривина и тя по естествен начин се обобщава за произволна гладка повърхност:

$$K(x) = \lim(\alpha + \beta + \gamma - \pi)/S \text{ (при } S \rightarrow \infty \text{)}. (4)$$

Тук ъглите и площта на триъгълника върху повърхността са ограничени от линии на най-късото разстояние, а кривината, която, казано най-общо, се мени от точка към точка, представлява локална характеристика. И в общия случай, както и за сфера,  $K$  служи за вътрешна характеристика на повърхността, без да зависи от нейното потапяне в тримерното пространство. Гаусовата кривина не се изменя при изкривяване на нейната повърхнина без разтягания и разкъсвания. Така например конус или цилиндър могат да бъдат разгънати в плоскост и затова за тях, както и за плоскост,  $K = 0$ .

На уравненията (3) и (4) може да се погледне и по друг начин. Да се върнем към фиг. 1. Да вземем на полюса вектор, насочен по посока на един от меридианите и го пренесем по този меридиан, без да изменяме ъгъла между тях (в дадения случай нулев), до екватора. След това да го пренесем по екватора, отново без да изменяме ъгъла между тях (този път той е равен на  $\pi/2$ ). И накрая, по същия начин да се върнем отново по втория меридиан на полюса. Лесно се вижда, че за разлика от такъв пренос по затворен контур върху плоскост, сега в крайна сметка векторът се оказва обърнат относно своята изходна посока на  $\pi/2$ , или на:

$$\alpha + \beta + \gamma - \pi = KS. (5)$$

Този резултат - на обръщане на вектора при пренос по затворен контур на ъгъл, пропорционален на площта, който обхваща контура, по естествен начин се обобщава не само за произволна двумерна повърхност, но и за многомерни неевклидови пространства. Обаче, в общия случай, на  $n$ -мерно пространство кривината не се свежда до една скаларна величина  $K(x)$ , а представлява по-сложен геометричен обект с  $n^2(n^2 - 1)/12$  компоненти, наречен тензор на кривина или тензор на Риман, а самото пространство - риманово. В четиримерното риманово пространство-време на общата теория на относителността тензорът на кривината има 20 компоненти.

**Класически опити по проверка на ОТО.** Вече беше отбелязано, че гравитационното поле влияе не само върху движението на масивни тела, но и върху светлината. В частност фотон, разпространяващ се в полето на Земята нагоре, извършва работа против силата на тежестта и затова губи енергия. Както е известно, енергията на фотона е пропорционална на неговата честота, която естествено също намалява. Този ефект - на червено отместване - е предсказан от Айнщайн още през 1907 г. Не е трудно да се оцени нейната големина. Работата против силата на тежестта очевидно е пропорционална на  $gh$ , където  $g$  е ускорението при свободно падане, а  $h$  - височината на издигане. Произведението  $gh$  има размерност на квадрата на скоростта. Затова резултата за относителното изместване на честотата от съображения за размерност трябва да има вида:

$$\Delta \omega / \omega = gh/c^2, (6)$$

където  $c = 3 \cdot 10^{10}$  cm/s е скоростта на светлината. При  $g = 10^3$  cm/s<sup>2</sup>,  $h = 10^3$  cm относителното изместване е нищожно малко:  $\sim 10^{-15}$ . Затова не е удивително, че експериментално червеното преместване беше наблюдавано чак половин век след неговото предсказване, едва при появяването на техника, основаваща се на ефекта на Мьосбауер. И това беше направено от Паунд и Ребка.

Айнщайн предсказва още един ефект в зората на ОТО: отклонението на светлинен лъч в гравитационното поле на Слънцето. Големината на този ефект не е трудно да се оцени

по следния начин. Ако характерното прицелно разстояние на лъча до Слънцето е  $\rho$ , то радиалното ускорение ще бъде  $GM/\rho^2$ , където  $G$  е нютоновата гравитационна константа, а  $M$  - масата на Слънцето. За характерното време на полета  $\rho/c$  радиалната компонента на скоростта на фотона ще се измени с  $GM/(\rho c)$  и ъгълът на отклонението ще бъде:

$$\theta \sim GM/c^2.$$

Удобно е да се въведе често използваната в ОТО характеристика за масивно тяло - т.нар. гравитационен радиус:

$$r_g = 2GM/c^2. \quad (7)$$

Наивното използване на полукласически съображения действително води към отговора:

$$\theta = r_g/\rho.$$

Именно този резултат получава и Айнщайн в един от първоначалните варианти на ОТО. Първата световна война препятства на нейната проверка, което е неблагоприятно за теорията. Окончателният и правилен резултат на ОТО е два пъти по голям:

$$\theta = 2r_g/\rho. \quad (8)$$

Гравитационният радиус на Слънцето  $r_g \approx 3 \text{ km}$ , а прицелният параметър естествено трябва да се вземе колкото се може по-близък до обикновения радиус на Слънцето, който е  $7 \cdot 10^5 \text{ km}$ . По такъв начин за светлинен лъч, преминаващ близо до повърхността на Слънцето, ъгълът на отклонението ще бъде равен на  $1,75''$ . Измерванията, проведени от групата на Едингтън по време на слънчевото затъмнение през 1919 г., потвърждават това предсказание. Това е бил истински триумф на младата обща теория на относителността.

И накрая, към класическите тестове на ОТО се отнася и въртенето на перихелия на орбитата на Меркурий. Затворените елиптични орбити са специфичен ефект от нерелативисткото движение при притеглящ потенциал  $1/r$ . Затова не е удивително, че в ОТО орбитите на планетите са незатворени. Малкият ефект от такъв род е удобно да се опише като въртене на перихелия на орбитата. Много преди появата на ОТО астрономите са знаели, че перихелият на Меркурий се завъртва за столетие на  $6000''$ . Това завъртане се е обяснявало с гравитационни пертурбации на движението на Меркурий под действието на другите планети от Слънчевата система. Но е оставал неотстраним остатък от  $40''$  за столетие. През 1915 г. Айнщайн обяснява и това разминаване в рамките на ОТО.

От прости съображения за размерност може да се очаква, че завъртането на перихелия на Слънцето при един оборот на планетата ще бъде:

$$\delta \sim r_g/R,$$

където  $R$  е радиусът на орбитата. Акуратното пресмятане в рамките на ОТО за орбита, близка до кръговата, дава:

$$\delta = 3\pi r_g/R. (9)$$

При радиус на орбитата на Меркурий  $R = 0,6 \cdot 10^8$  km се получава  $43''$  за столетие, което е равно на необясненото разминаване. Впрочем, ясно е защо разглеждаме Меркурий - тази планета е най-близката до Слънцето, с най-малък радиус на орбитата  $R$  и затова въртенето на перихелия на орбитата ѝ ще бъде максимално.

**Черните дупки.** Обаче ролята на ОТО съвсем не се свежда до изследването на малки поправки към нютоновата механика. Съществуват обекти, в които ефектите на ОТО играят ключова роля, важни са стопроцентово. Един от тези примери са черните дупки.

Още през 18-ти век Митчел и Лаплас независимо един от друг отбелязват, че могат да съществуват звезди, притежаващи съвсем необикновени свойства: светлина от тях не може да напусне повърхността им. Разсъжденията им изглеждат приблизително така. Тяло, притежаващо радиална скорост, може да напусне повърхността на звезда с радиус  $R$  и маса  $M$  при условие, че кинетичната енергия на това тяло  $mv^2/2$  превишава енергията на притегляне  $GMm/R$ , т.е. при условие  $v^2 > 2GM/R$ . Прилагането на последното равенство към светлината (както сега знаем, напълно необосновано) води до извода: ако радиусът на звездата е по-малък от

$$r_g = 2GM/c^2,$$

то светлината не може да напусне нейната повърхност, т.е. такава звезда няма да свети! Последователното прилагане на ОТО води до същият извод, при това поразително е, че правилният резултат количествено съвпада с наивния и необоснован извод. Стойността на гравитационния радиус  $r_g$  вече беше срещаната (вж. формула (7)).

Черна дупка е напълно естествено название за такъв обект. Свойствата му са съвсем необикновени. Черната дупка възниква тогава, когато звездата се свива толкова, че усиливащото се гравитационно поле не пропуска във външното пространство нищо, даже собствената светлина. Затова от черна дупка не излиза никаква информация.

Забавно изглежда падането на пробно тяло върху черна дупка. По часовника на безкрайно отдалечен наблюдател това тяло достига до гравитационния радиус за безкрайно време. От друга страна, по часовник, разположен върху самото пробно тяло, времето за такова пътешествие е крайно.

Многочислените резултати от астрономични наблюдения дават сериозни основания да се предполага, че черните дупки съвсем не са само игра на ума на физиците-теоретици, а реални обекти, съществуващи, поне в ядрата на галактиките.

**Пулсарът PSR 1913+16 и гравитационните вълни.** Нобеловата премия по физика за 1993 г. беше присъдена на Халс и Тейлър за изследването на пулсара PSR 1913+16 (буквите PSR означават пулсар, а цифрите - координатите на небесната сфера). Изследването на свойствата на излъчване на този пулсар е показало, че той е компонента на двойна звезда. С други думи той си има компаньон и двете звезди се въртят около общ център на масите. Разстоянието между този пулсар и компаньона му е само  $1,8 \cdot 10^6$  km. Ако невидимият компаньон беше обикновена звезда с характерен радиус  $10^6$  km, то очевидно щеше да се наблюдава затъмнение на пулсара. Обаче нищо

подобно не става. Подробният анализ на наблюденията показва, че невидимата компонента не е нищо друго освен неутронна звезда.

Съществуването на неутронни звезди е било предсказано теоретично още през 30-те години. Те се образуват в резултат на бурно гравитационно свиване на масивни звезди, съпроводено от взрива на свръхнови. След такъв взрив налягането в остатъчното ядро на масивната звезда продължава да нараства, електроните се сливат с протоните (с излъчване на неутрино) в неутрони. Образува се много плътна звезда с маса, малко по-голяма от масата на Слънцето, но с много малък размер, от порядъка на 10 - 15 km, не превишаващ размера на астероид. Без съмнение наблюдаването на неутронните звезди само по себе си представлява забележително откритие.

Освен това прецизното изследване на движението на тази двойна звезда дава ново потвърждение на предсказанието на ОТО, отнасящо се за незатвореността на елиптичните орбити. Тъй като гравитационното поле в дадената система е много голяма, преместването на перихелия на орбитата е много по-бързо, отколкото перихелия на орбитата на Меркурий: за година той се завъртва на  $4,2^0$ . Изучаването на този и други ефекти позволява също с висока точност да се определят масите на пулсарите и неутроните звезди. Те са равни, съответно на 1,442 и на 1,386 слънчеви маси. Но и това не е всичко.

Още през 1918 г. Айнщайн на основата на ОТО предсказва съществуването на гравитационното излъчване. Добре известно е, че ускорени електрично заредени частици, излъчват електромагнитни вълни. Аналогично, масивни тела, движещи се с ускорение, излъчват гравитационни вълни - "накъдряне" на геометрията на пространството, която се разпространява също със скоростта на светлината.

Трябва да се отбележи, че тази аналогия е непълна, (както впрочем и всяка друга). Една от разликите между електромагнитните и гравитационни вълни, която е съществена, е следната: за разлика от случая на електромагнитно поле плътността на енергията на гравитационното поле, гравитационната вълна локално, в дадена точка, винаги може да се обърне в нула чрез подходящ избор на координатната система. По онова време - преди 60-70 години, това обстоятелство се е разглеждало като сериозна трудност на теорията. След това обаче смисълът му е бил изяснен и проблемът снет. Въпреки това, изглежда, заслужава да се спрем на него, защото през последните години у нас в някои претендиращи на сериозност научни публикации, а и в научно-популярната литература се появяват твърдения, че възможността за обръщане в нула на локалната плътност представлява коренен, принципен дефект на ОТО.

В действителност няма нищо страшно. То е пряко следствие от принципа за еквивалентност. Наистина, както вече беше споменато, преминавайки в система, свързана със свободно падащия асансьор, ние обръщаме в нула напрегнатостта на гравитационното поле. Напълно естествено е в такава система и плътността на гравитационното поле да бъде равна на нула.

От тук обаче съвсем не следва, че гравитационните вълни са само някаква игра на ума. Те по принцип са наблюдаеми физични явления. Например прът, намиращ се в поле на гравитационни вълни, изпитва деформация, изменяща се с неговата честота. Уви, уговорката "по принцип" съвсем не е случайна: масата на всеки обект върху Земята е толкова малка, а движенията толкова бавни, че генерацията на гравитационно

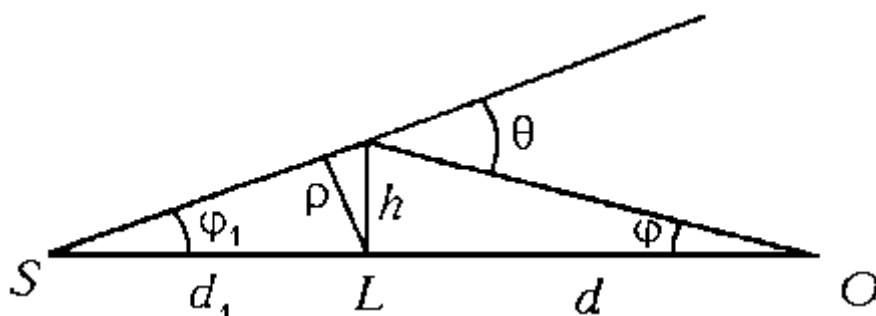
излъчване в земни условия е свършено нищожна и не се вижда никакъв реален начин за регистрирането на такова излъчване. Съществуват редица проекти за създаване на детектор за гравитационно излъчване от космични обекти. Обаче и тук реални резултати досега няма.

Заслужава да се посочи, че въпреки възможността по наше желание плътността на енергията на гравитационното поле да може да се обръща в нула във всяка точка чрез подходящ избор на координатна система, пълната енергия на това поле в целия обем и пълният импулс имат напълно реален физичен смисъл (разбира се, ако полето намалява достатъчно бързо в безкрайност). Толкова наблюдаема и добре дефинирана величина се явява и загубата на енергия за сметка на гравитационно излъчване.

Всичко това има пряко отношение към пулсара PSR 1913+16. Тази система трябва също да излъчва гравитационни вълни. Енергията на това излъчване е огромна и сравнима с пълната енергия на излъчване на Слънцето. Впрочем и това е недостатъчно за непосредствената регистрация на тези вълни на Земята. Обаче енергията на гравитационните вълни може да бъде черпена само от енергията на орбиталното движение на звездите. И наистина, прецизните измервания на импулсите от радиоизлъчването на пулсара PSR 1913+16 показват, че разстоянието между компонентите на тази двойна звезда намаляват с няколко метра на година, в пълно съгласие с предсказанията на ОТО. Любопитното е, че загубата на енергия на двойната звезда за сметка на гравитационното излъчване е била пресметната от Ландау и Лифшиц, които предлагат тези пресмятания като учебна задача в първото издание на тяхната забележителна книга "Теория на полето", излязло през 1941 г.

**Гравитационни лещи и кафяви джуджета.** И накрая, още един сюжет, но по-свеж и от пулсара PSR 1913+16. Обаче той е тясно свързан с идея, възникнала още зората на ОТО. През 1919 г Едингтън и Лодж, независимо един от друг, отбелязват, че щом звездата отклонява светлинните лъчи, тя може да се разглежда като своеобразна гравитационна леща. Такава звезда измества видимо образа на звездата източник относно истинското ѝ положение.

Първата наивна оценка може да доведе до пълна безнадеждност за наблюдаване на ефекта. От прости съображения за размерност може да се заключи, че образът ще се окаже изместен на ъгъл от порядъка на  $r_g/d$ , където  $r_g$  е гравитационният радиус на лещата, а  $d$  – характерното разстояние в задачата. Даже ако за леща се вземе струпване на звезди, състоящо се от  $10^4$  звезди, а за разстояние - около 10 светлинни години, то ъгъла на изместване ще бъде  $10^{-10}$  радиана. Разделителна способност за подобни ъгли измервания практически е невъзможна.





Фиг. 2. Гравитационна леща. Осевосиметричен случай.

S – източник; L – леща; O – наблюдател.

Обаче такава наивно оценка просто е невярна. Това следва, в частност, от изследването на простия случай на линейно разположение на източника S, лещата L и наблюдателя O (фиг. 2). Тази задача е разгледана от Хволсон (професор в Петербургския университет, автор на петтомен курс по физика, широко известен в началото на века) и 12 години след него - от Айнщайн. Да се обърнем към нея и ние сега. Ясно е, че за всякакво разстояние  $d_1$  между източника и лещата, и  $d$  - между лещата и наблюдателя, и за всякакъв гравитационен радиус  $r_g$  на лещата (звезда и струпване от звезди) ще се намери такова минимално разстояние  $\rho$  между лъча от източника и лещата, при което този лъч ще попада в приемника. При това образът на източника запълва окръжност, която наблюдателят вижда под ъгъл  $\varphi$ . Ъглите  $\varphi$  и  $\varphi_1$  са малки, така че  $\varphi = h/d$ ,  $\varphi_1 = h/d_1$ , а освен това  $h = \rho$ . От тук определяме:

$$\theta = \varphi + \varphi_1 = h(d_1 + d)/d_1d.$$

От друга страна, за  $\theta$  формулата (8) очевидно е вярна. По такъв начин:

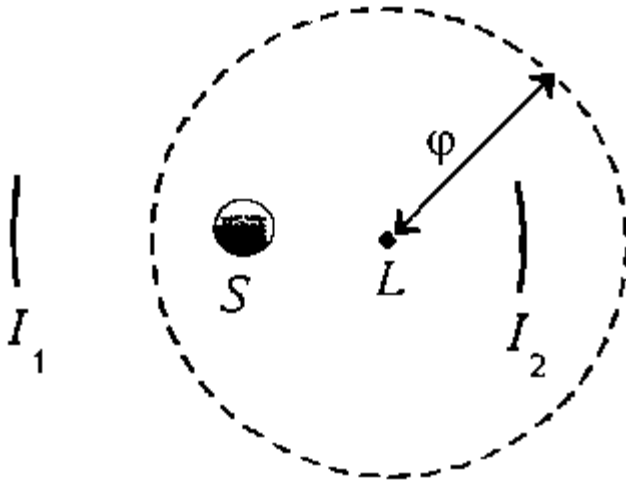
$$h = \sqrt{2r_g d_1 d / (d_1 + d)}.$$

И накрая, интересуваният ни ъгъл е:

$$\varphi = \sqrt{2r_g d_1 / (d_1 + d)d}. \quad (10)$$

По такъв начин, правилният порядък на стойностите на ъгловите размери на образа не е  $r_g/d$ , а  $\sqrt{r_g / d}$  (при тези пресмятания ние приемаме, че всички разстояния са от един и същ порядък). И така стойността на ъгловите размери се оказва много по-голяма от първоначалната наивна оценка и това изменя радикално ситуацията с възможността за наблюдаване на ефект от гравитационна леща.

Ако обаче гравитационната леща не лежи на правата, съединяваща източника с наблюдателя, картината се изменя. В случая на сферично-симетрична леща се появяват два образа (фиг. 3), единият от които лежи в "пръстена на Айнщайн", съответстващ на осевосиметричната картина, а другият - извън този пръстен. Подобни образи също са били наблюдавани - те изглеждат като двойни квазари или като квазари-близнаци.



Фиг. 3. Гравитационна леща. Общият случай.

$S$  – проекция на източника;  $L$  – проекционна леща;  $I_1, I_2$  – образи на източника.

Ако източникът се движи, то и двата образа се местят. Докато яркостите на двата образа са сравними с яркостта на източника, за оценка на ъгловото разстояние може да се използва изразът (10). Ако масата на звездата, действаща като леща, не е голяма, да кажем два-три порядъка по-малка от масата на Слънцето, разделянето на такъв ъгъл между образите, който е от порядъка на  $0,001''$ , практически е невъзможно. И въпреки това, да се забележи подобно явление е възможно. Работата е в това, че при сближаване на образите тяхната сумарна яркост расте. Това явление, т.нар. микроувеличение, има достатъчно специфичен характер: нарастването на яркостта и следващото ѝ намаляване протича симетрично във времето, при това изменението на яркостта протича еднакво във всички дължини на вълните - ъгълът на отклонение според израза (10) не зависи от дължината на вълната.

Търсенето на микроувеличение, провеждано в продължение на няколко години от две групи астрономи - австралийско-американска и френска, доведе не само до наблюдаване на търсения ефект. По такъв начин беше открит нов клас небесни тела: слабо светещи звезди-джуджета, т.нар. кафяви джуджета, които играят ролята на микролещи. Това стана съвсем неотдавна: ако в началото на 1994 г. бяха известни два-три такива обекта, то понастоящем техният брой е няколко десетки. Наистина първокласно откритие в астрономията.

**Заключение.** ОТО е завършена физична теория. Тя е завършена в смисъла, в който са завършени класическата механика, класическата електродинамика или квантовата механика. Подобно на тях тя дава еднозначни отговори на физически смислени въпроси, дава ясни предсказания за реално осъществими наблюдения и експерименти. Обаче, както и всяка друга физична теория, ОТО има своя област на приложимост. Така например извън тази област лежат свръхсилните гравитационни полета, където съществена роля играят квантовите ефекти. Обаче завършена квантова теория на гравитацията не съществува.

ОТО е удивителна физическа теория. Тя е удивителна с това, че в нейната основа лежи, по същество, само един експериментален факт, при това известен много преди

създаването на ОТО - всички тела падат в полето на тежестта с едно и също ускорение. Удивителна е и с това, че е създадена до голяма степен от един човек. Но преди всичко ОТО е удивителна със своята необикновена вътрешна стройност и красота. Не случайно Ландау казваше, че истинският физик-теоретик може да се разпознае по това, изпитвал ли е възхищение при първото си запознаване с нея.

Примерно до средата на 60-те години ОТО се намираше в значителна степен извън основната линия на развитие на физиката. А и самото развитие на ОТО не беше кой знае колко активно и се свеждаше до голяма степен към изясняване на определени тънки места, детайли, решаването на макар и важни, но частни задачи. И не случайно аз още си спомням как уважаван физик от старото поколение съветваше младите физици да не се занимават с ОТО. "Това е наука за стари хора", казваше той.

Вероятно една от причините за тази ситуация беше в това, че ОТО възникна в известен смисъл преждевременно - Айнщайн беше изпреварил времето си. От друга страна, вече в неговата публикация от 1915 г. теорията е формулирана в достатъчно завършен вид. Не по-маловажно е и обстоятелството, че наблюдателната база на ОТО остана много тясна. Съответстващите експерименти са извънредно трудни. Достатъчно е дапомним, че червеното отместване беше измерено почти 40 години, след като беше открито отклонението на светлината в гравитационното поле на Слънцето.

Обаче понастоящем ОТО представлява бурно развиваща се област на съвременната физика. Това е резултат на огромния напредък на наблюдателната астрономия, на развитието на експерименталната техника и на впечатляващия прогрес на теорията.

За съжаление, да се отразят адекватно в една популярна статия постиженията на ОТО, явно, е невъзможно. Аз се докоснах само до няколко въпроса. Техният избор се определяше от два критерия. Преди всичко, степента на разбираемост на теорията, макар и в общи черти. И второ, възможността да се изложат тези въпроси без излишна вулгаризация, оставайки в рамките на училищната математика и физика. Разбира се, даже само тези въпроси са засегнати бегло. А колко не по-малко увлекателни въпроси останаха извън рамките на статията!

Превод от руски: Н. Ахабабян

# НАУЧНОТО НАСЛЕДСТВО НА ДЖ. И. ТЕЙЛЪР - ОСНОВА НА ОБРАЗОВАТЕЛЕН КУРС

**Майкъл**

**П.**

**Бренер,**

*(доцент по приложна математика в Massachusetts Institute of Technology in Cambridge)*

**Хауард**

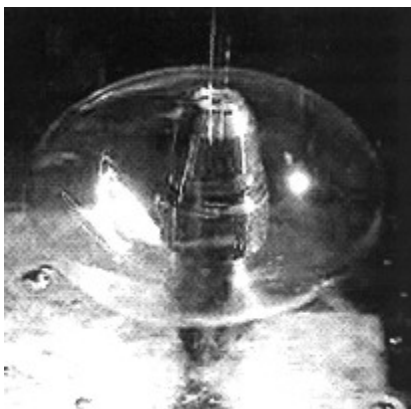
**А.**

**Стоун**

*(професор по инженерна химия и приложна математика в Harvard University in Cambridge)*

През пролетта на 1998 г. обмисляхме университетски курс по съвременна класическа физика, който да обхване основите, както и да представи посоките на развитие и същността на текущите изследвания. Докато разговаряхме по въпроса, осъзнахме, че много от важните открития, лежащи в основите на широк кръг от актуални физични и инженерни области, са направени от една личност, британския учен Джефри Инграм Тейлър (1886 – 1975). Въпреки че много изследователи са запознати с един или друг от приносите на Тейлър, изглежда са малко онези, които си дават сметка за невероятната широта на неговите научни публикации и тяхната връзка с важните съвременни изследователски проблеми. Същият човек, за когото обикновено напомнят носещите и неговото име няколко основни нестабилности, свързани с теченето на флуиди (Тейлър-Кует, Рейли-Тейлър и Сафман-Тейлър), е и първият, който показва експериментално, че дифракционната картина, създадена от светлина, осветяваща игла, не се променя, когато интензитетът на светлината намалява. И тези области са само началото. Тейлър направи фундаментални приноси в учението за турбулентността, като защити необходимостта от статистическа теория и осъществи първите измервания на ефективните коефициенти на температуропроводност и вискозитет на атмосферата.

Тейлър написа една от първите научни статии, в които се използва понятието произволни разходки (random walks); създаде първата последователна теория на структурата на ударните вълни в газове; и обясни важноста на дислокациите за определянето якостта на твърди тела. Описа и контраинтуитивната физика на флуидното движение в ротационно обкръжение, като посочи основните принципи, лежащи в основата на важните аспекти на динамиката на атмосферата и океаните.



Фиг. 1. Воден звънец. Получава се, когато водна струя удря горната част на затворен цилиндър. При удара се образува тънък воден слой, който обвива цилиндъра в прекрасна камбановидна форма. Тази конфигурация е анализирана за първи път от Феликс Савар през 1833 г. Тейлър описва теоретично формата на “звънеца”. Тази снимка е направена от Робърт Бъкингам в лабораторията по флуидодинамика в математическия департамент на MIT под ръководството на Джон Буш

Тейлър изучаваше всички тези области през първите 30 години от своята кариера, между 20-те и 50-те години на този век. През следващите 30 години, наред с други постижения, той описа количествено дисперсията на разтваряното вещество във флуидно течение; разработи основните принципи за това как плуват микроорганизмите; и предсказа, чрез анализ на размерностите, освободената при експлозия на атомна бомба енергия по серия от публикувани от Американското правителство снимки. Той установи също така, че ускоряването на разделителната граница (интерфейса) между два флуида може да води до нестабилност и осъществи плодотворна работа по взаимодействието на флуиди с електрични полета, като създаде база за електродинамиката и за основите принципи на един поврат в съвременните индустриални процеси и устройства.

Забележителната дълбочина и обхват на изследванията на Тейлър влияят по един или друг начин на съвременните изследвания в областта на класическата физика. Поради това ние решихме, че нашите цели ще бъдат постигнати, ако структурираме курса изключително около научните публикации на Тейлър. В тази статия обобщаваме структурата и съдържанието на нашия курс, като същевременно описваме някои от откритията на Тейлър, които може би не са широко известни извън областите, които те засягат най-съществено.

През целия семестър ставаше все по-ясно, че структурирането на курса около публикуваните от Тейлър статии [1] има много предимства. Преди всичко изследователските интереси на Тейлър предоставят възможност да се покрие много по-широк кръг въпроси, отколкото нормално е оправдано за един-единствен курс. Второ, подробното изучаване на тези публикации неизбежно привлича вниманието към неговия стил, който се състои в прякото и количествено сравняване на теоретичните аргументи и мащабните анализи с експерименталните резултати. Този подход към научни и инженерни изследвания, макар от една страна да има доста очевидна стойност, от друга е изключително трудно да бъде както преподаван, така и изучаван, особено когато се имат предвид сложни неравновесни проблеми, което е нещо обичайно за Тейлър.

Големият талант на Тейлър се състоеше в това да открива все нови пътища за извличане на изключително прости свойства от един сложен процес или експеримент. Това не само води до преки, количествено проверими предвиждания, а и по-късно изследователите бяха склонни да идентифицират тези Тейлърски извадки като най-важните количествени аспекти за разбиране на системата. При “преподаването на Тейлър” съществуват безкрайни възможности за привличане на вниманието върху значението на този подход към решаване на научни и инженерни проблеми и за сравняването им с и противопоставянето им на по-съвременните силови подходи, като например прякото пресмятане на всеки аспект на системата. Макар, че може да се каже още много за двата подхода, много по-лесно е да се изучи последният, тъй като примерите за първия са малко и редки.

Описаният по-долу наш курс е представен схематично. По правило имаше две 90-минутни лекции на седмица, в които ние критически обсъждахме една отделна статия или, понякога, група от две или три такива. Статиите бяха раздадени предварително и се очакваше студентите да са ги чели. В отделни случаи раздавахме наскоро излезли обзорни статии, както и научни публикации. Организирахме и няколко специални семинара, водени от местни и гостуващи преподаватели; изисквахме от тези лектори да дефинират бележките си като: "Темата X от Тейлър насам".

<u>Уводни бележки</u>	Обзор на изследванията на Дж. И. Тейлър. Състояние на механиката на флуидите в 1900 г.
<u>Първите две статии на Тейлър</u>	"Дифракция при ниски светлинни интензитети" "Нормализиране на ударни вълни"
<u>Нестабилности</u>	Течене на Тейлър-Кует. Задача на Сафман-Тейлър. Нестабилност на Рейли-Тейлър.
<u>Турбулентност</u>	Дифузия чрез непрекъснати движения. Статистическа теория на турбулентността. Разрушаване на вихри.
<u>Въртеливи течения</u>	Теорема на Тейлър-Прудман. Движение на частици и стълбове на Тейлър.
<u>Дисперсия в ламинарни течения</u>	Дисперсия на Тейлър-Арис. Измерване на коефициенти на температуропроводност.
<u>Механика на твърдото тяло</u>	Дислокации и якост на твърди тела.
<u>Плуване при малки числа на Ренълдс</u>	
<u>Капки и мехури</u>	Деформиране и разрушаване на капки. Вискозност на смеси; емулсии.
<u>Електрохидродинамика</u>	Пропускливи диелектрични модели.
<u>Повърхностно напрежение</u>	Тънки филми; отслабване на повърхностния слой; водни камбани.
<u>Ударни вълни</u>	
<u>Експлозии</u>	

За да поставим базата за изследванията на Тейлър, ние използвахме първата лекция за обобщаване на състоянието на флуидната механика в началото на 20-ти век, преди Тейлър. Изградихме това представяне върху прекрасния обзор на Сидни Голдщайн, публикувана като първа статия в първия брой на *Annual Reviews of Fluid Mechanics*. [2] Въпреки че в началото на 20-ти век се е знаело много за движението на флуиди, имало е и много разногласия и обсъждания върху взаимоотношенията между теориите и експериментите. През 1916 г. лорд Рейли написа за *Nature* обзор на четвъртото издание на "Хидродинамика" на Хорас Лам, където той пише: "Може би времето за сравняване на теоретичната хидродинамика с експеримента още не е дошло ... Ние можем да се надяваме, че след непродължителни (експериментите, вероятно) ще се приближим плътно до теоретичната хидродинамика."

По онова време голям проблем беше, че все още съществува неувереност относно правилните гранични условия за скоростта на флуид до повърхността на твърдо тяло и дали тези гранични условия могат да бъдат независими от състоянието на движение на

флуида. Въпреки че през 1904 г. Лудвиг Прандл въведе вискозни гранични слоеве, които бяха стъпка към решаване на проблема, неговите идеи твърде бавно бяха възприемани и намираха почва. Голдщайн пише, че около средата на 20-те години тези проблеми са били решени до голяма степен. “Няколко фактора ... допринесоха за това, но най-големият принос беше този на Дж. И. Тейлър.”

След това започнахме обсъждане на статиите на Тейлър. Направихме опит нашият избор на подредба, обобщен в таблицата, да бъде педагогичен. Започнахме с първите две научни статии на Тейлър, писани от него преди 25-годишната му възраст, и продължихме с четенето на трудовете му върху нестабилностите, турбулентността, въртеливите течения и т.н.

До края на тази статия са дадени кратки обобщения на някои от темите. Приносите на Тейлър в механиката на флуидите и в тази на твърдото тяло са толкова много, че е както невъзможно, така и извън нашата компетентност да преценим дори само качествените му идеи в един-единствен курс, още по-малко в една-единствена статия, така че и в двата случая има колосални пропуски. Изборът на теми за тази статия беше обоснован от желанието ни да покажем широтата и последователността на Тейлъровите изследвания, както и да осветлим онези теми, които ние сметнахме за най-полезни от педагогична гледна точка. За по-подробна информация относно изследователската дейност и живота на Тейлър препоръчваме неотдавна излезлите биография на Тейлър от Джордж Бачълър [3] и обзорни статии [4, 5].

Започнахме нашия преглед на изследванията на Тейлър с обсъждане на първата му научна публикация от 1909 г. Това е единствената му статия, която не е свързана с класическата физика, но, въпреки това, тя носи експерименталните характеристики, които ще се появяват навсякъде в следващите му работи. По поръчка на Дж. Дж. Томсън Тейлър осъществява един експеримент (в детската стая на бащината си къща), за да установи дали има качествено изменение на дифракционната картина, когато интензитетът на светлината се намали съществено. [3] Тейлър посочва, че Томсън е вярвал в промяната на картината. Тейлър направил снимки на сянката на игла, като променял интензитета на светлината, екранирайки източника с опушени стъкла. С намаляването на интензитета той увеличавал експозицията, за да запази общото количество осветеност на плаката постоянно. Най-продължителният експеримент отнел три месеца, време, съответстващо на запалена свещ, разположена на около два километра разстояние от плаката; някои от експериментите са се правели, дори когато Тейлър бил на пътешествие с яхта. Не установил изменения в дифракционната картина, описал този резултат в статията от две страници и изоставил тази насока на изследване.



Фиг. 2. Джефри Инграм Тейлър (отдясно) на 69-годишна възраст в лабораторията си със своя асистент Уолтър Томпсън. (Видеоархив на Емилио Сегре)

За втората си научна статия, публикувана през 1910 г., когато Тейлър е на 25 години, той получава наградата Смит за студенти по математика в Кеймбриджкия университет. В тази статия е решена една дълго устояла фундаментална задача в областта на механиката на флуидите. Джордж Габриел Стокс забелязал, че съществува реална възможност за краткотрайни прекъсвания на скоростта в един газ, ако една област от него се движи с по-ниска скорост пред друга – по-бърза област. Такива прекъсвания, наричани сега “ударни вълни”, могат лесно да бъдат предсказани от уравненията на идеалната (невискозна) флуидна динамика. Те представляват сингулярности, понеже градиентите на скоростта се разклоняват в прекъсването. По онова време не беше известно какво става след образуването на такива шокови вълни. Тейлър показа, че в реален газ прекъсването би могло да бъде отстранено от дисипативни ефекти (и от вискозност, и от загряване). Това решение (осъществено качествено през 1908 г. от Рейли, тогава на 66 години) е една от най-основните характеристики в газодинамиката.

Първата тема, която ние разгледахме в детайли, беше статията на Тейлър от 1923 г. върху нестабилностите на теченето на Кует теченето между концентрични въртящи се цилиндри. Интересна особеност е мотивацията на статията. В началото Тейлър отбелязва, че “са направени огромен брой опити да бъде открито някакво математическо представяне на нестабилностите във флуиди, но до този момент във всички случаи те се оказват неуспешни” [6]. По това време идеята за стабилност вече е била добре формулирана и много автори (между които лорд Келвин, Рейли, Хайнц Хопф и Арнолд Зомерфелд) опитвали да предскажат нестабилността на разтвор с уравненията на флуидодинамиката. Но за съжаление нито едно пресмятане не се оказа в съгласие с експеримента. Провалът на опитите да се предскажат нестабилностите предизвика голямо смайване и пълен хаос. Например Хопф предположи, че вероятно е било необходимо да се вземе предвид твърдостта на граничните повърхности, за да се обясни нестабилността на напречния поток в канали. (Коментарът на Тейлър е: “Изглежда не може твърде силно да се препоръча тази теория като обяснение на наблюдаваното турбулентно движение на флуиди.”[6])

Статията на Тейлър е едно голямо интелектуално постижение, представляваща първият пример на количествено съответствие между пресмятания на стабилности и експеримент. Фактът, че сравнението се е получило, се дължи до голяма степен на интуицията на Тейлър, че всред различните възможни експерименти установката с



въртящ се цилиндър е най-подходяща за количествено сравняване на теорията с експеримента. В работата е показано недвусмислено, че както използваното при пресмятането на стабилността приближение, така и предположенията (граничните условия), на които то почива, са били коректни. В своя обзор Голдщайн казва: “Опростяванията на математиката ... щяха да продължат, но вече не можеше да има спор.” [2]

Статията на Тейлър беше забележителна заради техническите детайли, както теоретични, така и експериментални. Пресмятанията, водещи до някакъв праг на нестабилност за вътрешния и външния цилиндри с произволни радиуси, са еднообразни, поражаващи формули, всяка от които е по една страница дълга, включващи детерминанти на Беселови функции. (В лекцията ние избягвахме алгебрата, като използвахме ограничението на тесния процеп, въведено за пръв път от Харолд Джефрис през 1928 г. и разширено по дължина от Субрамаян Чандрасекар. [7]) По онова време определянето на числените стойности на формулите само по себе си беше значително предизвикателство. Проектирането на експеримент, който да е съвместим със заложените в изчисленията допускания, беше също толкова деликатно – в частност краевите ефекти на цилиндъра не можеха да повлияят на възникването на нестабилността. Резултатите за границата на нестабилността като функция на скоростите на въртене на двата цилиндъра беше в прекрасно съгласие с теорията, както е показано на графиката на фиг. 5 и няколко от направените от Тейлър снимки на това течение все още се възпроизвеждат. Доста забавно е, че Тейлър действително е измерил експериментално повече точки върху границата на стабилност, отколкото е изчислил теоретично, вероятно поради продължителността на пресмятането на детерминантите на Беселевата функция! В края на статията Тейлър описва своите наблюдения върху изобилието на нелинейните състояния над границата на нестабилност. С нарастването на относителната скорост на цилиндрите, теченето преминава от устойчиво, през променяща се с времето “barber-pole” картина от вихри, към турбулентно несиметрично течение. Ричард Файнман обобщава в своите лекции:

Основният урок, който трябва да научим от работата на Тейлър е, че в уравненията на Навие-Стокс е скрито невероятно разнообразие от начини на поведение. Всички решения са на едни и същи уравнения, но при различни стойности на скоростта на въртене. Нямаме основание да мислим, че в тези уравнения липсват каквито и да било членове. Единствената трудност е, че днес нямаме достатъчна математическа мощ, за да ги анализираме ... Това, че сме написали някакво уравнение, не лишава флуидното течение от неговия чар или от неговото тайнство, или от скритата в него изненада. [8]”



Фиг. 3. Нестабилност при отлепването на лейкопласт. Тейлър изследва този проблем през 1964 г. (на 78-годишна възраст) и показва, че вискозните напрежения в лепкавия флуид допринасят съществено за неговата “лепкавост”. Когато лепенката бива отлепвана от твърда повърхност, конкуренцията между приложеното налягане и

повърхностното напрежение води до нестабилност с точно определена дължина на вълната (завъртулките). Интересът към връзката между флуидомеханичните нестабилности и адхезията съществува и днес.

(За подробности вж. статията на Cyprien Gay and Ludwik Leibler, *Physics Today*, Nov. 1999, p. 48.) (Сн. © Felice Frankel, MIT; F. Frankel, G. M. Whitesides, *On the Surface of Things*, Chronicle Books, San Francisco, 1997.)

Изследванията на Тейлър върху турбулентността са концентрирани в непреклонни опити да опише турбулентността, като формулира математически теории, които да могат пряко и количествено да бъдат сравнявани с експерименталните резултати. През семестъра ние обсъдихме пет статии на Тейлър върху турбулентността, като започнахме с монументалната (и трудна за четене) статия от 1915 г. “*Eddy motion in the atmosphere*” (“Вихрово движение в атмосферата”) и тази от 1939 г., в която се въвежда това, което днес е известно като водовъртеж на Тейлър-Грийн. В последната Тейлър конструира решение на уравненията на Навие-Стокс, което показва каскадата на турбулентната енергия.

Казано общо, приносът на Тейлър за нашето разбиране на турбулентността е неговото наблюдение, че по аналогия с кинетичната теория на газовете” би трябвало да се намери статистическо описание. Следователно той целеше да намери пътища за предсказване на статистическите свойства на теченето. Най-дълбокият му принос може би е формулата (от публикуваната през 1923 г. статия):

$$\frac{d\langle x^2 \rangle}{dt} = \langle v^2 \rangle \int C(t - \xi) d\xi$$

където  $\langle \dots \rangle$  означава осредняване по време,  $x$  е местоположението, а

$$C(t - \xi) = \langle v(t)v(t - \xi) \rangle / \langle v(t)^2 \rangle$$

е корелационната функция на скоростта.

На пръв поглед тази формула е обикновено математическо твърдение и не зависи от детайлите, определящи начина на движение на един реален флуид. Все пак формулата представлява два различни типа експериментални измервания: Лявата страна дава дисперсията на трасиращите частици в потока и може да бъде измерена чрез наблюдаване на дифузията на багрило в турбулентно течение; дясната страна може да се измерва чрез взимане на проби от полета на скоростите в различни моменти от време и да се измерват корелациите. Тейлър показва, че корелационната функция е достатъчна за определяне на статистическите свойства на една стационарна случайна функция, идея, която е имала огромно влияние извън областта на флуидомеханиката. Например Норберт Винер пише, разказвайки за началото на своите изследвания върху случайните функции:

Бях ненаситен читател на списанията и в частност на *Proceedings of the London Mathematical Society*. Там видях статия от Дж. И. Тейлър, по-късно – сър Джефри Тейлър, третираща теорията за турбулентността ... Съдържанието на статията беше близко до собствените ми интереси, доколкото траекториите на въздушните частици в

турбулентност са криви и физичните резултати от статията на Тейлър включват осредняване или интегриране върху фамилии от криви. [9]”

Винер продължава, като казва, че Тейлър представлява специфично английски тип учен: аматьор с професионална компетентност. Горната формула е имала огромно влияние за развитието на теорията на турбулентността: до ден-днешен се вярва, че фундаменталните величини, които трябва да бъдат предсказвани от управляващите ги уравнения, са корелационни функции.

Един от най-полезните резултати на Тейлър засяга дисперсията на разтварящото се вещество във флуиден поток. Мотивацията за този проект беше да се разбере начинът, по който лекарствата се разсейват в кръвния поток и други подобни приложения. Идеята е да се разгледа стационарно ламинарно течение в права кръгла тръба с радиус  $a$  и да се установи как едно първоначално локализирано разтворимо вещество диспергира с времето.

Ако нямаше дифузия на молекулите, разтворимото вещество би било до голяма степен отнесено от флуида поради високия напречен градиент на скоростта в тръбата. Тейлър приема, че молекулната дифузия действително *препятства* тази дисперсия: Молекулната дифузия принуждава разтворимото вещество в центъра на тръбата да дифундира към периферията на тръбата, където то се движи по-бавно. Тейлър показва, че ако концентрацията се означи с  $c(r, z, t)$ , където  $z$  е по оста на тръбата и средната по площта на напречното сечение концентрация е  $\langle c \rangle(z, t)$ , средната концентрация се развива в съответствие с конвективно-дифузното уравнение:

$$\frac{\partial \langle c \rangle}{\partial t} + \langle u \rangle \frac{\partial \langle c \rangle}{\partial z} = \Theta \frac{\partial^2 \langle c \rangle}{\partial z^2}, \quad \text{където} \quad \Theta = D \left( 1 + \frac{1}{48} \frac{\langle u \rangle^2 a^2}{D^2} \right),$$

а  $D$  е константата на молекулната дифузия. [10] Центърът на масите на разтворимото вещество се движи със средната скорост  $\langle u \rangle$  и има Гаусово разпределение спрямо средното, което нараства пропорционално на  $\sqrt{\Theta t}$ . Обикновено най-големият принос в дисперсията идва от члена

$$1/48(\langle u \rangle^2 a^2 / D)$$

, който е обратнопропорционален на коефициента на дифузия! Тейлър дори използва тази идея, за да измери константата на молекулната дифузия, приближение, което се използва и до днес. [11]

Предметът на вискозната хидродинамика беше популяризиран всред общността на физиците от Едуард Пърсъл в статията му “Животът и малките числа на Ренълдс”, където той описва работата си с Хауард Бърг върху изясняване на движещата сила на бактериите. [12] Това, което вероятно не е така добре известно, е, че първият, получил широко признание, труд в тази област, е този на Тейлър. [13] Пърсъл пише:

Но по-онова време в статията на Дж. И. Тейлър (в *Proceedings of the Royal Society*) можеха да бъдат цитирани само три публикации: Х. Лам, *Хидродинамика*; Дж. Тейлър (предишна негова статия); Дж. Уотсън, *Беселеви функции*. Това се нарича да бъдеш основоположник.”

Интересът на Тейлър към този предмет както изглежда е бил стимулиран от неговото сътрудничество със зоолога Джеймс Грей от Кеймбриджския университет. Основната трудност с проблема за движещата сила при малки числа на Ренълдс е че движението е обратимо: при обръщане на кинематичните движения винаги се стига до началното положение. Пърсъл популяризира тази идея чрез своята “раковинна теорема”, която гласи, че раковина (обект със само едно съединение) не може да плува във вискозен флуид.

Тейлър откри прости ситуации на плуване, при които обратимостта е нарушена, за да покаже как е възможно движението. Например чрез ясно формулирани пресмятания той показва, че разпространяващи се по един потопен във флуид лист напречни вълни карат листа да се премества с постоянна скорост. Тези идеи напоследък намериха много приложения, от проектирането на микромеханични устройства до хипотези относно движещи механизми в необикновени организми. Тейлър разработи също така все още съществуващия образователен филм “Течения при малки числа на Ренълдс”, който е познат на мнозина и се препоръчва на всички като прекрасен пример за творческата способност и яснота на стила на Тейлър.



Фиг. 4. Стълбове на Тейлър. Когато един обект се движи във въртящ се поток, той увлича след себе си стълб флуид, който е успореден на оста на въртене. На снимката се вижда потокът, когато оцветена капка силикон (с радиус 2 cm) се издига в голям съд с вода, въртяща се с 56 оборота в минута (от [17]).

Грей възбужда интереса на Тейлър и към плуването на змиите. Как различните типове деформации на змийското тяло пораждат тласък напред? На пръв поглед този проблем изглежда труден за третиране, тъй като породеното от змията течение е типично турбулентно, поради което фактически теории липсват. Тейлър обаче забелязва, че съществуват много експериментални данни, отнасящи се до силите, които действат върху цилиндри в едно турбулентно течение, и пристъпва към използване на тези данни като основа за теорията си. Моделирайки змията като поредица от цилиндри, той изчислява скоростта на плуване като функция на деформацията. Това му позволи да пресметне количествено характеристики, отнасящи се до начина на плуване на змиите – например амплитудата на вълната, която описва тялото на змията, когато тя плува

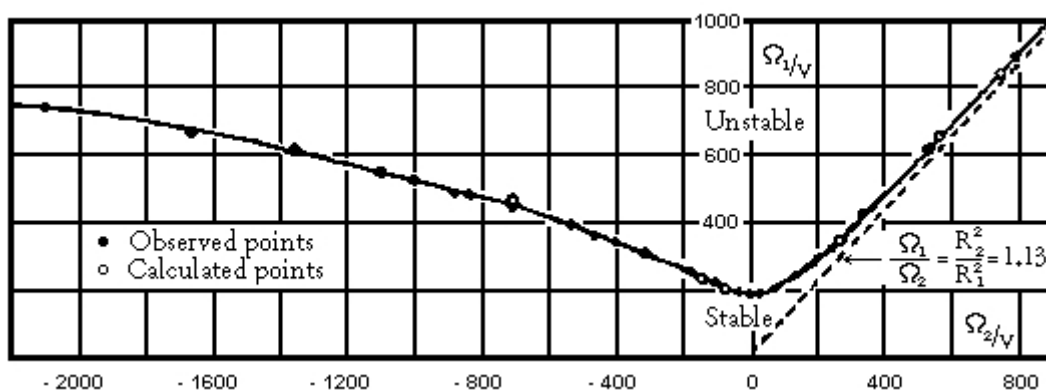
най-бързо. Може би най-интересното му откритие е, че змия с грапава повърхност на кожата може да плува напред, като изпраща вълни в същата посока. Тейлър пише: “Когато представих резултата на професор Грей, той ми показа поредица направени от него фотографии на морския червей *Nereis diversicolor*, който действително плува по този начин.” [14] И, в съответствие с предсказаното, повърхността на този червей е грапава.

В един постоянен, бързо въртящ се с ъглова скорост  $\Omega$  поток, преобладаващите сили са градиентите на налягането и Кориолисовите, като уравненията на Навие-Стокс се свеждат до:

$$2\rho \Omega \times \mathbf{v} = -\nabla p,$$

където  $\rho$  е плътността на флуида и  $p$  е налягането. Взимайки ротацията от това уравнение, се получава, че скоростта не зависи от координатата по оста на въртене. Следователно теченето е на практика двумерно. Този резултат, показан първо от Джоузеф Прудман през 1915 г., сега се нарича теорема на Тейлър-Прудман.

Името на Тейлър беше свързано с това на Прудман в названието на теоремата, защото той постави въпроса за това какво се случва, когато някой се опита да наруши двумерността на теченето. В публикувана през 1923 г. статия той съобщава за поставяне на къс цилиндър във въртящ се контейнер с флуид и тегленето му спрямо течението. При отсъствие на въртене, естествено, движението на късия цилиндър би смущавало теченето във всички посоки. Как може това да се съгласува с резултата на Прудман? Експериментите показаха нещо, което Тейлър нарича “забележителен” извод: Теченето остава двумерно! Едно (почти) твърдо тяло спира един цял стълб течност, успореден на оста на въртене. Така, във въртящо се обкръжение едно бавно движещо се тяло има поведението почти на твърд цилиндър, разположен успоредно на оста на въртене. Съществуват многобройни приложения на тази идея при движения в атмосфери и океани, защото топографските характеристики на повърхността предизвикват “стълбоподобни” смущения, които взаимодействат или блокират течението на значителни височини.



Фиг. 5. Диаграма на стабилност на Тейлър-Кует. Тази диаграма, взета от статията на Тейлър от 1923 г. върху нестабилността на течението между два коаксиални въртящи се цилиндъра, беше първият пример за теоретично пресмятане на нестабилност във флуиден поток, което количествено съответства на експерименталните резултати. Границата на стабилност е представена като функция на бързината на въртене на

външния цилиндър (по ординатата) и на вътрешния цилиндър (по абсцисата). Пунктираната линия ( $\Omega_1 R_1^2 = \Omega_2 R_2^2$ ) съответства на по-ранната теория на лорд Рейли. Плътните точки означават резултатите от експерименталните измервания; с кръгчетата са означени теоретично пресметнатите резултати за границата на стабилност. Поради сложността на численото изразяване на формулите от теоретичните пресмятания има повече експериментални точки от теоретични такива.

Голяма част от живота си след това Тейлър посвещава на изучаването на взаимодействието на флуиди с електрични полета. Най-същественят му принос направен на 80-годишна възраст е разбирането, че идеализацията идеални проводници или идеални диелектрици е подвеждаща за течения с приложени електрични полета. Винаги присъства някакъв остатъчен свободен заряд, обикновено разположен по границата между различни флуиди. Така всяко тангенциално на интерфейса електрично поле води до тангенциално напрежение, което може да бъде уравновесено само при вискозно течение.

Тейлър открива тази основна идея, когато се опитва да обясни една експериментална аномалия в наблюдаваните форми на диелектрични капки в равномерно външно електрично поле. Простата енергетика предсказва, че една такава капка би трябвало да се издължи в направлението на полето, докато при някои флуиди капката на практика се скъсява по направление на полето. Тъй като описаното по-горе тангенциално електрическо напрежение изисква за баланс постоянно вискозно течение, формата на капката не може да се получи чрез минимизиране на енергията. Характеризирането на течностите както чрез проводимостта, така и чрез диелектричната константа, се нарича “диелектричен модел на теченето”. [15]

Не може една статия за Тейлър да бъде изчерпателна, без в нея да се включи често разказваната история за пресмятането, което той е направил на енергията в ударната въздушна вълна, възникваща при взрив на атомна бомба. Както разказва самият Тейлър [16], в началото на Втората световна война Британското правителство му съобщило за разработването на атомната бомба и му възложило да мисли върху механичния ефект, който може да предизвика експлозията ѝ. Той осъзнава, че освободената при експлозията енергия бързо ще престане да зависи от първоначалната си форма и разпределение и би предизвикала силна ударна вълна във въздуха. Структурата на ударната вълна далеч от земята би могла добре да се апроксимира със сферичната.

При това приближение Тейлър приема, че параметрите в тази задача са енергията  $E$ , плътността  $\rho$  на въздуха, радиусът  $R(t)$  на взривната вълна и интервалът от време  $t$  след началото на взрива. Тъй като взривът е много силен, налягането на въздуха няма да повлияе много на вълната, поради което  $\rho$  не е съществен параметър. Тейлър осъзнава, че от тук следва съществуването на едно-единствено безразмерно число, което характеризира процеса; читателят може сам да се увери, че  $Et^2/\rho R^5$  е безразмерно.

Тъй като тази величина не зависи от която и да било страна на въпроса, тя трябва да е константа. Оттук следва, че радиусът на взривната вълна се дава с:

$$R(t) = c(Et^2/\rho)^{1/5},$$

където  $c$  е константа. Действително, оказва се, че, според едно пресмятане, за въздух  $c \approx 1,033$ . Следователно, при наличие на снимка, от която може да се определи радиусът

на взривната вълна, и на данни за периода от време след взрива, енергията може да бъде определена.

Много по-късно Тейлър анализира фотографии, направени от J. E. Mask на експлозията на първата атомна бомба в Ню Мексико. Тези снимки били направени в точно определени моменти от времето след експлозията и Тейлър потвърждава, че мащабният закон е в много добро съгласие с данните. Интересно е да се отбележи, че от написаните през 50-те години статии, в които се съобщава за независими открития на взривовия мащабен закон (с автори, между които са Джон фон Нойман и Леонид Седов), само в тази на Тейлър са използвани публикувани данни, за да покаже, че горното уравнение е в съгласие с експериментите.

Съществуват много теми, които не можахме да засегнем в тази статия или в нашия курс между тях е грамадата от приноси на Тейлър в областта на механиката на твърдото тяло. Един следващ опит за създаване на образователен курс върху статиите на Тейлър е много вероятно да доведе до съвършено различен списък от теми. Съветваме заинтересованите читатели да прегледат събраните работи на Тейлър и да построят свой курс, използвайки тези статии като входен шлюз към съвременната литература.

#### Библиография

1. G. K. Batchelor, ed., *Scientific papers of G. I. Taylor*, Cambridge U. P., England (1971).
2. S. Goldstein, *Ann. Rev. Fluid Mech.* 1, 1 (1969).
3. G. K. Batchelor, ed., *The Life and Legacy of G. I. Taylor*, Cambridge U. P., England (1996); reviewed in *Physics Today*, June 1997, p. 82.
4. J. K. Bell, *Experimental Mechanics*, 1 (1995).
5. J. S. Turner, *Ann. Rev. Fluid Mech.* 29, 1 (1997).
6. G. I. Taylor, *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. A* 223, 289 (1923).
7. H. Jeffreys, *Proc. Roy. Soc. Lond. A* 118, 195 (1928). S. Chandrasekhar, *Hydrodynamics and Hydromagnetic Stability*, Oxford U. P., England (1961).
8. R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, Addison-Wesley, Reading, Mass. (1964), vol. 2, p. 41.11.
9. N. Wiener, *I am a Mathematician*, MIT Press, Cambridge, Mass. (1956).
10. G. I. Taylor, *Proc. Roy. Soc. Lond. A* 219, 186 (1956).
11. M. S. Bello, R. Rezzonico, P. G. Righetti, *Science* 266, 773 (1994).
12. E. M. Purcell, *Am. J. Phys.* 45, 3 (1977).
13. G. I. Taylor, *Proc. Roy. Soc. Lond. A* 209, 447 (1951).

14. G. I. Taylor, Proc. Roy. Soc. Lond. A 214, 158 (1952).

15. J. R. Melcher, G. I. Taylor, Ann. Rev. Fluid Mech. 1, 111 (1969). D. A. Saville, Ann. Rev. Fluid Mech. 29, 27 (1995).

16. G. I. Taylor, Proc. Roy. Soc. 201, 11 (1949).

17. J. M. Bush, H. A. Stone, J. Bloxham, J. Fluid Mech. 282, 247 (1995).

Превод: И. Русев

Michael P. Brenner and Howard A. Stone, *Physics Today* May 2000





## ФИЗИЦИТЕ НА "РОЖЕН-2000"

На състоялия се Общобългарски събор "Рожен-2000", 26-27 август 2000 г., бяха проведени няколко кръгли маси - дискусии по общонационални проблеми, засягащи развитието на страната ни в по-близкото и по-далечно бъдеще. Една от тях беше наречена "Наука и образование" и проведена в хотел "Перелик" в Пампорово под ръководството на акад. Иван Юхновски, председател на БАН. Въпросите, които бяха поставени на обсъждане, бяха свързани с развитието на науката и образованието в негодлемите държави: подходи за стимулиране на научните изследвания в България и чуждестранен опит в тази насока; съотношение и връзки между фундаменталните и научноприложните изследвания; отношения между природни, технически, хуманитарни и обществени науки; възможности за подпомагане на българските наука и образование от утвърдени учени-българи в чужбина; виждания за финансирането на науката у нас и в чужбина; споделяне на личен опит; проблемът с "изтичането на мозъци" от България; проблеми за приемствеността между поколенията в науката и образованието и др. Всред пристигналите от чужбина 18 български учени - "изтекли мозъци", емигрирали от страната по време на комунистическия режим, бяха и 5 физици и астрофизици:

Димитър Съселов, професор по астрономия в университета "Харвард", Кеймбридж, САЩ, директор на департамента "Астрономия и астрофизика" към същия университет;

Златан Цветков, професор по "Физика и Астрофизика" в университета Джон Хопкинс, Балтимор, САЩ;

Сергей Петков, професор по "Теоретична физика" в университета SISSA, Триест, Италия;

Иван Петров, професор по "Металознание и инженерство, физика на тънките слоеве и микроструктурен анали" в университета Илинойс, САЩ;

Ботьо Бетев, професор в лабораторията за Високи Енергии на Швейцарския Федерален Технологичен Институт в Цюрих, Швейцария.

От българска страна участваха акад. Иван Тодоров, физици от ИЯИЯЕ-БАН и проф. Ив. Лалов от ФФ на СУ. На второто заседание на кръглата маса Наука и образование участва и произнесе [слова](#) Президентът на Република България Г-н Петър Стоянов.

Всички изказвания и цялата дискусия се предаваха на живо по Интернет и бяха записани - предстои публикуването им в отделна книжка. Тук публикуваме изказванията на проф. Д. Съселов, проф. С. Петков, акад. Ив. Тодоров и проф. Ив. Лалов, представени от самите автори по молба на редколегиата на сп. "Светът на физиката".

Нъшан Ахабабян

\* \* \*

- 1) [Изказване](#) - *Димитър Съселов*
- 2) [За развитие на фундаменталните науки в България](#) - *Иван Тодоров*
- 3) [Изказване](#) - *Иван Лалов*
- 4) [Изказване](#) - *Сергей Петков*



Изказвания на някои от физиците, участници на

### **Кръглата маса "Наука и образование", Рожен-2000**

**Проф. Димитър Съселов, у-тет "Харвард", Кеймбридж, САЩ.**

Казвам се Димитър Съселов и съм астроном в САЩ, т.е. аз съм представител на фундаменталните науки. Искам да благодаря много за поканата и да ви уверя, че за мен е голяма чест да бъда тук.

Първо бих желал да отговоря на въпрос, поставен по рано тази сутрин - аз завърших училище в Несебър и гимназия в Бургас и се гордея с това; възпитаник съм на нашите школи по физика, астрономия и математика в Софийския университет и БАН, между тях и Обсерваторията "Рожен", и много се гордя с това.

Ще говоря по два въпроса - да споделя едно мое наблюдение и да направя едно предложение за дискусия тук. Първото ми наблюдение е по въпроса за средното образование и връзката му с висшето образование. През последните седем години имам пряк поглед върху приемите на студенти (първокурсници) в университета "Харвард" и тяхното развитие в следването им. В Харвардския Отдел по приемите и стипендиите вече от няколко години всички поставят учениците и студентите от България на челно място. Българските ученици идват при нас от училища от цялата страна - от Хасково, Сливен, Варна и София. Този успех на нашите ученици продължава и до настоящата

година, и не само в университета "Харвард". Ректорът (the provost) на университета "Принстън" сподели пред мен съвсем същото възхищение от българските студенти там.

В "Харвард" студентите в природо-математическите науки и някои приложни и хуманитарни специалности преминават приравнителни изпити. След тях, като директор на специалността към нашата катедра през последните две години, аз разговарям с всеки един отделен студент, над 100 от тях, за какво и на какво ниво, са учили в гимназията. Съвсем определено мога да потвърдя, че нивото на българските ученици е най-високо и е всестранно в сравнение с всички други - особено в сравнение с американските ученици. А университет "Харвард" е сравнително известен, та конкурентите на нашите ученици са най-добрите им връстници от Северна Америка, а и от света.

Нека кажа, че не смятам че гимназиалното ни образование не се нуждае от подкрепа и от промяна към по-добро, но като става въпрос за наличен бюджет и пари (по-точно - липсата им), може би е добре да се изчака и обмисли една скъпа реформа сега.

Това ме води към втората ми точка и предложение. Става въпрос за състоянието на науката у нас днес. Силно впечатление ми направи вчера, макар че аз знаех и от лични впечатления отпреди, мащабите на недостига на пари за наука у нас. Виждам реална възможността много успешни звена и школи да изчезнат напълно. Това състояние е криза, защото загубят ли се звена, школи, направления - ще отнеме много време и много, много пари те да се изградят наново. Ректорите на Харвард обичат да казват, че имането на университета се пази с предвидлива пестеливост, не със сляпа пестеливост. Вижте, изграденото у нас отпреди век насам е ценно имане, в същността на което са хората с техния потенциал и готовност за жертви и лишения. Обаче, докато за материалната база - сгради, машини и т.н. си има лесен начин да се изчисли колко пари са нужни за поддръжка и колко пари, за да се купят нови, само ние, учените, сме в състояние (а сме и длъжни!) да предоставим такава финансова оценка на политическите лидери. Предложението ми е да помислим как това може да се направи в скоро време. Опит с подобен анализ в Канада през последната година показва, че обединен фронт на учените, например у нас - на БАН и на висшите училища, може да е много ефективен. А аз предполагам, че много от нас, събрани около тази маса днес, ще се радваме да помогнем.

\* \* \*



Изказвания на някои от физиците, участници на

**Кръглата маса "Наука и образование", Рожен - 2000**

**Акад. Иван Годоров, ИЯИЯЕ, БАН:**

За развитие на фундаменталните науки в България

Ползата от приложната наука е сравнително лесно да се обоснове както пред широката общественост така и пред правителство (или друг потенциален източник на финансиране). Значи ли това, че трябва да се откажем от развитието на фундаменталната наука у нас? Да оставим да си отидат – в прекия и преносен смисъл на думата – хората от няколкото института, катедри, проблемни групи (по математика, теоретична физика, физикохимия, молекулярна биология, ), които си бяха завоювали международен престиж, които работеха (и до сега се мъчат да работят) на ниво? Следва ли даже Академията на науките да издига като основен критерий за научно постижение непосредствения материален ефект ?

Отговорът на тези въпроси би трябвало да е ясен поне за хората на науката. Всяко цивилизовано общество подкрепя развитието на чистата наука, както подкрепя несвързани с приложения хуманитарни науки и изкуството. Най-интересни и значителни приложения възникват от изследвания, предприети с чисто познавателна цел. Ярък пример за това е електродинамиката на Фарадей и Максвел.

Може да се чуе мнение, че бедни страни като нашата не могат да конкурират богатите индустриални държави във фундаменталните научни изследвания и е по-добре да се задоволяват с прилагане на чужди открития. Ако някой ни предложи да отрежем главите на работниците под предлог, че те работят с ръцете си, ще му се изсмеем, но споменатата позиция не е много различна. Науката е като жив организъм: за да има технически науки на ниво, необходимо е развитие на математиката, физиката, химията. Преподаването на една наука може да вдъхнови младите, ако професорът им е съпричастен с научното творчество, а не повтаря заучено от втора ръка.

Един пример, достоен за внимание: в малка Дания израства (в началото на века) голям физик теоретик – Нилс Бор. Датчаните не го оставят да си търси работа в Англия, където той е специализирал, или в съседна Германия. Те създават специално за него Институт по теоретична физика, Института "Нилс Бор" в Копенхаген, който се превръща в световен център на квантовата теория, привличащ най-големите светила от Германия, Англия, Русия и Америка.

В такива случаи е важно да се направи правилен избор. Институт за фундаментална наука се създава и подкрепя, не по заповед на шуката, която решава, че това е нужно за страната, а когато в дадена област са израснали проявени таланти. За щастие съществуват обективни критерии, по които и човек от друг бранш включително и непредубеден политик може да съди дали имаме работа с истински научни постижения или с раздути претенции. Това са: публикации в научни списания с висок рейтинг и отзвук, който те намират сред независими компетентни специалисти по света.

Взаимодействието ни с голямата наука, в тясна и стабилна връзка със световни научни центрове, ще ни даде шанс да задържим и у нас талантиливи млади учени. При перспектива да участват, например, в експеримент в ЦЕРН от предния край на физиката на високите енергии с апаратура, изготвена у нас нашите най-способни млади физици и свързаните с тях инженери ще имат алтернатива на заминаването за Америка

(и оставането там): работа в български институт, който сътрудничи с голям европейски център.

За да успеем в науката трябва да се стремим към високото. Както е казал преди 250 години английският поет\*:

"Too low they build who

build beneath the stars."

("Твърде ниско строят онези,

които не се стремят да достигнат звездите.")

---

\* Edward Young, Night Thoughts (1742-1746)

\* \* \*



Изказвания на някои от физиците, участници на

### **Кръглата маса "Наука и образование", Рожен-2000**

**Проф. Иван Лалов, Физически Факултет, СУ.**

Важна стъпка, която нашата кръгла маса трябва да направи, е да потвърди настоятелната препоръка на Европейската комисия страните-членки и кандидат-членки на Европейския съюз да отделят един процент от брутният си вътрешен продукт за наука. Тази препоръка бе отправена отново от Директора към дирекция "Околна среда и устойчиво развитие" проф. Патерман (от Европейската комисия) по време на Четвъртата генерална конференция на Балканския физически съюз на 22.08.2000 г. в гр. Велико Търново. Известно е, че процентът, отделян за наука в България, е няколко пъти по-нисък, което не благоприятства за нашата кандидатура в ЕС.

Една друга страна се отнася до задачите, които трябва да се поставят пред самата наука. В Петата рамкова програма се изисква от средствата за наука да се получава "принадна европейска стойност", т.е. научен продукт, който ще промени живота на всеки европеец в близките години. За нас някой от колегите преформулира тази задача като получаване на "българска принадна стойност", т.е. от капиталовложенията за

наука да се получават резултати, които да подобрят живота на българина. Това се отнася и до природните, и до хуманитарните науки. Наша задача - на учените - е да определим и формулираме онези промени в структурата и модела на науката, които ще й придадат съвременен облик. Не можем да избягаме в близкото десетилетие и особено две десетилетия, от проблема - дали да съществува един силен научен център с огромни звена, а университетите - с изключение на няколко - да вегетират, или да възприемем модел на науката със силно развитие на отделни нейни клонове в университетите.

Няколко думи за средното образование. Сега се полагат героични усилия да се промени модела на средното образование от консервативен в либерален. Аз горещо поддържам промяната на модела на висшето образование от тяснопрофилни към широкопрофилни специалности (за което говори зам.-министърът проф. Б. Тошев). Не мога да изкажа своето одобрение за прехода в средното образование от немско-съветския консервативен модел (който е италиано-френски) към английския и американски либерален модел. Последният има своите достойнства, но това е друг модел и неговото въвеждане не се диктува от ясни мотиви. Не един път съм подчертавал, че една реформа е обречена на неуспех, ако не се приеме от онази група, която активно ще я провежда, в дадения случай – от учителите. Именно учителите не разбират сега необходимостта от новия либерален модел.

\* \* \*



Изказвания на някои от физиците, участници на

### **Кръглата маса "Наука и образование", Рожен-2000**

**Проф. Сергей Петков, университет SISSA, Триест, Италия:**

Бих искал първо да благодаря на организаторите на срещата Рожен 2000 - на президента на Република България Г-н Петър Стоянов и на акад. Ив. Юхновски - за поканата и предоставената възможност да участвам в нея. Вероятно поради обстоятелството, че живея и работя само на 1000 km от София - в Триест, Италия, и че практически по всяко време на годината в Триест има мои колеги от ИЯИЯЕ, БАН, или Физическия факултет на Софийския университет, които посещават Института, в който работя – SISSA - или съседния международен център по теоретична физика, аз нямам чувството на българин в чужбина - по-скоро живея с усещането на български учен, временно работещ в чужбина. Израснах като учен в България и Русия и се развих под влиянието на плодотворната атмосфера в сектора по Теория на елементарните частици а атомното ядро към ИЯИЯЕ, БАН. Измежду научните ми работи, които най-много ценя, и от работите ми, които най-много се цитират, съществена част са извършени

през годините, когато бях сътрудник на ИЯИЯЕ, БАН. Винаги съм се смятал и продължавам да се смятам за български учен.

Както много от вас, проблемите на образованието и развитието на науката в България дълбоко ме вълнуват и бих искал накратко да споделя с вас моите виждания за решаването на тези проблеми. Смятам, че бъдещето на България, мястото което ще си извоюва в Европа и света, зависи в голяма степен от това, как ще бъдат решени тези проблеми днес. От това зависи дали България ще запази престижа, който си е спечелила на страна с високо ниво на развитие на математическите и естествените науки, с необичайно голям брой компютърни специалисти, будещи удивление в Западна Европа и дори в САЩ, с население с висока обща култура, дала на света изтъкнати учени в областта на хуманитарните науки, оперни певци и музикални изпълнители или ще се превърне в страна, доставяща обслужващ персонал в Европа, в страна само на хотелиери, сервитьори, бармани, таксиметрови шофьори и т.н. и на производители на селскостопанска продукция.

Известно е, че прогимназиалното и гимназиално образование играе изключително важна роля за културното формиране на една нация. Смятам, че тенденцията за намаляване на часовете на обучение по математика, естествени науки, български език и история в българските училища е погрешно. Има много свидетелства, че нашето средно образование има много добро ниво: успешното представяне на нашите ученици на международни олимпиади по математика и естествени науки, изключително доброто представяне на нашите студенти в Западна Европа и САЩ и др. С това не искам да кажа, че средното ни образование е било без дефекти. То трябва да се осъвременява, следва да се въведат методи за ефективно стимулиране на учениците дори и при най-малка проява от тях на желание за знания, и т.н. Би било непростима грешка, обаче, да се приемат модели на средното образование, които се отхвърлят от самите си създатели или са в процес на кардинална реорганизация като неудовлетворителни (като този в държавните училища на САЩ).

Бих искал да кажа и няколко думи относно избора на направления за научни изследвания в областта на математическите и естествените науки в България. Смятам, че на този етап от развитие на България следва да се поддържат направления, в които имаме създадени школи с традиции и успехи, имащи международно признание. Започването на изследвания в нова област и достигането на високо научно ниво, сравнимо с нивото на водещите международни институти в областта, изисква големи капиталовложения, с каквито България понастоящем не разполага. Закриването на направления на научни изследвания, в които България има успехи и международно признание, и откриването им наново след време, например, изисква многократно повече средства, както показва опитът на страни като Канада, от поддържането на изследвания в тези направления. Във връзка с обсъждания проблем искам да споделя, че изпитах чувство на гордост от новината, че България е приета за пълноправен член на Европейската Организация за Ядрени изследвания (ЦЕРН) със седалище в Женева, Швейцария. Това е израз на най-високо международно признание на успехите на учените в България, работещи в областта на физиката на елементарните частици и атомното ядро. Изследванията в тази област се провеждат главно в Българската Академия на Науките и във Физическия факултет на Софийския университет. И цялата ни научна област трябва да се гордее с това постижение. Във връзка с това събитие получих много поздравления от много западноевропейски и американски колеги. Мога също да ви кажа, че почувствах и известна доза завист у колеги от страни, които имат

аспирации за членство в ЦЕРН, но още не са, като например Румъния. ЦЕРН е най-голямата научна лаборатория, и бих добавил - една от най-успешните в света. България може да има не само научна, но и политическа, а също така и чисто икономическа полза от членството си в ЦЕРН. Тя има нужда не само от физици, но и от инженери, техници, компютърни специалисти и други и най-вече - трамплин за млади, талантиливи хора, които ще поемат по успешния си път в световната наука. Искам да изтъкна, че ЦЕРН е една от първите значителни европейски организации, на които България е равноправен член, т.е. има равен глас със страни като Великобритания, Германия, Франция и т.н. при гласуване за вземане на всички решения от нейните ръководни органи - Съвета на ЦЕРН. Убеден съм, че поведението на България, в лицето на нейните представители като равноправен член на ЦЕРН може да повлияе и на напредъка при интегрирането на България в Европейската общност. Освен това членството на България в научна организация като ЦЕРН е и едно от най-ефикасните средства за предотвратяване на "изтичането" на млади научни кадри от България.

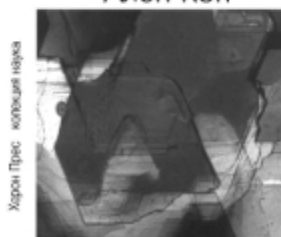


Вместо книгопис

**РАЗГОВОР МЕЖДУ ПРОФЕСИОНАЛИСТ И ДИЛЕТАНТ**  
(между проф. Леон Митрани и проф. Нъшан Ахабабян)  
за книгата на Жан-Пиер Шанжо и Ален Кон  
**МИСЛЕЩАТА МАТЕРИЯ\***

**МИСЛЕЩАТА  
МАТЕРИЯ**

Жан-Пиер Шанжо  
Ален Кон



Признавам, че дилетантският ми интерес към тази тематика беше провокиран от многобройните и продължителни разговори с известния наш биохимик проф. Георги Марков в продължение на три години, когато, често отегчени от катадневните проблеми на Президиума на ВАК, се "утешавахме" с беседи за успехите на съвременната наука. Аз се възхищавах от постиженията на микробиологията и свързаните с нея области и завиждах на учените, които имат възможност да се занимават с тях, а проф. Марков се удивляваше на постиженията на кварковата микрофизика и извънгалактичната астрофизика - проникването на човешкото познание "толкова надълбоко и толкова надалеч". Затова прочетох с голям интерес и внимание, още "топла, топла" тази новопоявила се на българския пазар книга. "Мозъкът да разбере себе си"! това е проблемът. Наред с голямото удоволствие разгледаните в книгата проблеми, постановки и решения пораждаха у мен разнопосочни чувства и мисли. И затова, за да "заземя" впечатленията си, както често и по много други поводи, се обърнах към моя Учител - проф. Леон Митрани - доктор на психологическите науки, физик, но "вътре" в биологичната проблематика.

Ето и опитът ми да предам нашия разговор за тази книга:

М. - Първо да ти благодаря, че ми посочи тази книга и това, че се намират издатели, които да издават такава литература ; дано тя достигне до повече читатели. Но нека веднага да изтъкна, че отношението ми е двойствено. Буди възхищение, че двама именити учени от различни области, без специална подготовка в неврологията или психологията, без притеснения дискутират такъв общочовешки проблем - устройството и начина на действие на мозъка. Впечатляващо е високото научно ниво и дълбочината на провеждания разговор.

Н.А. - Ето, че и днес има учени-универсалисти, които без страх излизат извън тясната област на своята специализация. Всъщност това е характерно за големите учени. Техните конкретни творчески усилия и постижения са ги докарвали до тези граници и да

се замислят за проблеми, излизайки извън рамките на тяхната тясна професионална област. Впрочем възможно ли е по принцип да се изучава работата на собствения мозък?

Л.М. - Въпросът ти наистина е уместен. Това, което знам в това отношение, е резултат от изследване на препарати от мъртви мозъци или на внедрявания на електроди в мозъка, или пък на оперативна намеса. Но нито мъртвият мозък, нито внедряването на десетки електроди могат да кажат как работи мозъкът, който прави всички тези изследвания. Очевидно вместо да се надяваме, че ще разберем как са свързани милиардите неврони, трябва да разсъждаваме за живия, работещ мозък с помощта на модели и аналогии. Именно подобен метод виждаме в книгата.

Н.А. - Ограниченията за "самопознание" веднага ме навеждат на любимия ми принцип на допълнителност на Бор, който без съмнение и тук поставя граници за възможностите за нашите "вмешателства" при конкретните изследвания.

Л.М. - Да, но, излизайки извън рамките на конкретните факти и явления, когато стават необходими метафизични принципи и идеи за "обяснението" им, нещата добиват друг характер. И в този случай всеки един от двамата остава на познатата си "твърда родна почва" - А. Кон с натрапчивата си идея, че математическите формули съществуват "вън и независимо от нас" и ние само ги откриваме - като зайци в храстите, без да можем да кажем кой ги е създал, докато пък Ж.-П. Шанжо е безрезервен привърженик на дарвинизма, макар и не в най-крайните му и остри форми (каквито са нитчанството, марксизма и пр.). Употребява понятието за "еволюция" в много широки граници и за различни неща (например еволюция на даден синапс и пр.). Въпреки че има развитие от по-прости към по-сложни неща, едва ли вътрешновидовата борба може да обясни сложните процеси в живата материя или в мозъка; идеята на Кропоткин за взаимопомощ в процеса на еволюцията е може би по-плодотворна. Трудно е да се разбере как се променя ДНК-носителят на наследствеността по съвсем случаен начин, например под въздействието на йонизиращата радиация и същевременно да остават почти непроменени основни елементи от организмите на живите същества. Така или иначе аз оставам с впечатление, че Кон не познава достатъчно дълбоко микробиологичните явления ...

Н.А. - ... докато в разговор с известен наш физик-теоретик той изрази обратното становище: че Шанжо не познава достатъчно квантовата физика ... Освен това моето впечатление пък е, че докато Кон е по-спокойно неуверен ("не знам", "не съм сигурен") и толерантен, Шанжо демонстрира по-агресивна самоувереност и твърдост в постановките си. Струва ми се, че и у двамата учени проличава известна "мирогледна неразположеност", обусловена от образованието и областта на научно творчество. Което всъщност е естествено.

Л.М. - Вероятно. Но все пак, колкото и напред да е достигнал човешкият мозък в процеса на изясняване на своята същност, решението на проблема е далеч - бих казал "неопределено далеч". Действително, възприятието е основата на човешкото мислене. Но границите между жива и нежива материя, преходът на "мислещата материя" към одухотвореността на човека и т.н. не са ясно установени. Разсъждение, мислене, интуиция, озарение, просветление ... ; естествен интелект и възможностите за изкуственото му претворяване - вероятно могат да се изброят още много употребявани понятия, за които вероятно могат да се дадат дефиниции по отделно, но

демаркационните линии преходите между тях едва ли са ясни. Да не говорим за цялостната картина ...

Н.А. - Ех, ние сега сме се събрали да говорим за книгата, а не да решим поставените в нея проблеми ...

Л.М. - Така е, но аз искам пак да подчертая моето разбиране за човешкото мислене: то е, което "измисля" природните "закони"! За разлика от Кон, аз се съмнявам, че математическите формули съществуват "извън нас". Човешкият мозък конструира все по-сложни конструкции, акумулирайки новото познание ...

Н.А. - Тогавата излиза, че науката е сценарий - все по-адекватно описващ природните явления ...

Л.М. - Би могло да се каже и така. Достигаме до много фундаментални въпроси, каквато е всъщност и целта на книгата. И това е нейната ценност - поставянето - без страх и предубеждения - на проблемите и усилията те "да се разберат".

Н.А. - Достигнахме до консенсус: има мислеща материя, но как мисли материята за сега не е ясно!

Л.М. - И остава на читателите-мислители да прочетат "Мислещата материя" и да се замислят как мислят ...

Н.А. - А спомняте ли си вица за патката, която мислила, мислила, и ...

Н. Ахабабян

---

\* Херон Прес, Колекция наука, София, 2000, (Превод от френски: Иля Петров)

## НОВ СПРАВОЧНИК ПО МОДЕЛИРАНЕ НА ФИЗИКО-ХИМИЧНИ ПРОЦЕСИ В ГАЗ И ПЛАЗМА

*"Физико-химические процессы в газовой динамике. Компьютеризированный справочник в трех томах. Том I: Динамика физико-химических процессов в газе и плазме."*  
Под ред. на Г. Г. Чернов и С. А. Лосев, Изд. на Московския университет, 1999 г., 350 стр.

Излезе от печат първият том от поредица справочници, предназначени за тези, които се занимават с научни или приложни разработки и експерименти, подготвят научно-технически препоръки, разработват и усъвършенстват конструкции или технологии в областта на газовете и плазмата.

Предметното съдържание на справочника се определя от триадата основни физически обекти в тази област на науката: ЧАСТИЦА (атоми, молекули положителни и отрицателни йони, електрони и фотони, както и съответните възбудени състояния) - ПРОЦЕСИ, възникнали в резултат на различни видове взаимодействия: пълни удари (ротационно и вибрационно възбуждане и дезактивация на молекули и молекулни йони; възбуждане и дезактивация на електронните състояния на атоми, молекули и техните йони; химически превръщания, радиационни и фотохимични процеси) - СРЕДА (газ или плазма, които се описват с кинетичните уравнения в отсъствие на равновесие или се подчиняват на термодинамиката при наличие на пълно химично и термично равновесие).

В справочника са описани 87 модела на процеси протичащи при удар на частици в газ или плазма. Описанието се предшества от обща част, включваща редица необходими и полезни сведения, в това число и списък на фигуриращите в справочника величини с обозначенията им, използваната система единици и преводните множители, формули за константата на скоростта на процеса в зависимост от сечението и т.н.

Ползването на справочника е изключително просто, поради възприетата унифицирана структура на представяне на моделите. Посочват се поставената цел и предназначението на модела, използваният метод на моделиране, направените допускания и съществуващите ограничения. След това се записват аналитичните формули и съотношения за определяните величини. Следва кратко описание на коефициентите и параметрите, привеждат се примери и резултати от пресмятанията, характерни стойности на моделираните величини, оценява се възможната грешка и се коментират възможностите на модела. Накрая се дава литературна справка за използваните първоизточници.

Много приятно впечатление прави представянето на моделите в три нива:

- (1) *физическо* - описват се частиците, процесите и средата с помощта на образи, представи и допускания.
- (2) *математическо* - включва комплект от променливи, формули, съотношения и уравнения, свързващи тези променливи и влизащите в тях параметри.

(3) *информационно* - дава структурирана представа за елементите на информация и връзките между тях. По този начин се реализират физическия и математическия модели, което е необходимо за осигуряване на натрупването, обработката и манипулацията в интерес на потребителя.

Предвижда се поредицата от справочници да включи още четири тома. Подготвени за печат са първите два от тях:

Том II: "**Физико-химическа кинетика и термодинамика**" - дава описание на уравненията на кинетиката, термодинамическите съотношения, уравненията на състояние и законите за запазване в газ и плазма. Разглеждат се стехиометрични и кинетични закономерности при сложни химични реакции, процедури за опростяване на механизма на тези реакции, квазистационарни и равновесни състояния в газ и плазма.

Том III: "**Молекулярный и радиационный перенос**" е преход към разглеждане на теченията във вискозен, топлопроводен и излъчващ газ. За целта в него ще бъдат представени уравненията на молекулен и радиационен пренос, модели на междумолекулните взаимодействия, изрази за транспортните коефициенти, вероятностите и сеченията на оптичните преходи в молекулите, коефициентите на поглъщане, излъчване и разсейване. Могат да се намерят и сведения за спектрални модели на газове и плазма със сложен състав, както и описание на методите за формиране на оптимални спектрални модели.

В процес на подготовка са том IV: "**Гетерогенные процессы и многофазная среда**" и том V: "**Модели газовой динамики**".

Представеният в справочника материал и компютърната му реализация са резултат на разработката на системата АВРОГАДРО (Автоматизиранно Обеспечение физико-химической Газовой Динамики Рекомендациями с Оценками достоверности).

Автори са добре известните в областта на физиката на плазмата и флуидите руски учени С. А. Лосев, С. Я. Уманский и И. Т. Якубов. Задълбочеността и съвременното ниво на информацията, критичния анализ на възможностите на всеки подход и богатата библиография (403 заглавия на статии, публикувани до 1993 г.) правят от справочника ценно помагало, което би могло да се използва с успех от инженери и научни работници, студенти, аспиранти и преподаватели, изучаващи и използващи достиженията на физико-химическата газодинамика. Не на последно място за това допринася и стриктната унификация на представяне на разглежданите модели.

Особено интересен за нашите условия на недостатъчна научна информация е фактът, че изданието е осъществено в рамките на проект, финансиран от Руския фонд за фундаментални изследвания. Понеже такъв подход не може да бъде осъществен в нашите условия, бих изразила мнение, че физическата гилдия би спечелила изключително много, ако бъде намерен начин да се финансира направата на поне две ксерокопия - за библиотеката във Физическия факултет и за тази във Физическите институти на БАН.

Лидия Заркова

## ПРОФЕСОР СЪР НЕВИЛ ФРАНСИС МОТ

*Е. А. Дейвис, проф. Университета на Лестър, Англия*



*Роден на 30 септември 1905 г., починал на 8 август 1996 г.*

Смъртта на Сър Невил Мот постави край на един истински "живот в науката" на човек, който така ярко се открояваше сред своите съвременници, много от които благоговееха и се вдъхновяваха от забележителната мощ на неговата интуиция, от необикновената му проникателност и от многостранните му творчески способности.

Смайващата продължителност на неговата активна научна дейност - първата му статия е публикувана през 1927 г., в ранните години на квантовата теория, а последната, върху високотемпературната свръхпроводимост, излиза през 1996 г., четири месеца след смъртта му, - със сигурност е безпрецедентна, а обхватът на неговите приноси във физиката вероятно няма равен на себе си. Той е автор на повече от 15 книги и над триста научни статии по такива разнообразни теми като вълнова механика, ядрена физика, свойства на металите, йонни кристали, полупроводници и стъкла, свръхпроводимост - внушителен списък, който все пак само частично отразява обхвата на неговите изследвания.

Невил Мот беше физик-теоретик - една квалификация, която е прекалено тясна и ограничителна, за да изрази неговите резултати и методи на работа. Основните заемани от него длъжности бяха в Бристъл и в Кеймбридж, но той беше "бащата" на значително по-голяма общност, поддържащ връзка (без предимствата на e-mail) със стотици учени, теоретици и експериментатори от най-различни страни; неговите написани на ръка писма често съдържаха зародиши на ценни идеи. За разлика от мнозина други неговото бюро не беше затрупано с кореспонденция, чакаща да бъде прочетена; той работеше в "реално време", пишеше първите чернови на статии, когато му идваха идеи, отговаряше на писма, пишеше рецензии и отзиви често в деня на получаването. Умът му беше

главният класатор. По свой уникален начин той свързваше идеи и хора от най-различни области.

## Ранни години

Било е естествено Мот да се интересува от физиката в най-ранна възраст. И двамата му родители са работели в Кавендишката лаборатория на Кеймбриджския университет заедно с Дж. Дж. Томсън, няколко години след като Томсън отъждествява катодните лъчи с "корпускули" (електрони) през 1897 г. В своята автобиография "*Живот в науката*" Мот отбелязва, че още докато е бил съвсем малък, той е разбрал от родителите си колко вълнуваща и дълбока наука е физиката. До десетгодишна възраст той е обучаван в къщи от майка си, а след това постъпва в седмичен пансион на малко подготвително училище близо до Стафорд. Преди да завърши това училище, той вече е знаел добре алгебрата и латинския език, а също началата на анализа. Следващите пет години Мот е в Клифтънския колеж на Бристъл, където талантливият учител Х. Бийвън му разкрива красотата на математиката. По-късно Мот си спомня вълнението, което изпитал, когато на 16-годишна възраст разбрал защо всяко число, повдигнато на степен нула, е равно на единица! През декември 1923 г. той е удостоен с най-високата стипендия на колежа "Св. Джон" в Кеймбридж, където се готви за почетния завършващ конкурс по математика (трайпъс).

Въпреки доказаните си математически способности Мот никога не се е изкушавал от чистата математика - интересувала го е преди всичко физиката. Първото му изследване е още по време на следването. Без да е получил някаква реална задача от ръководителя на отдела по теоретична физика, Ралф Фаулър, той сам си формулира проблем, който е приложение на вълновата механика към разсейването на заредени частици - област на активни експериментални изследвания, ръководени от Ърнест Ръдърфорд. Работата му е отпечатана в *Proceedings of the Royal Society*.

Една година след като е завършил с най-високи отличия през 1928 г. Мот получава със съдействието на Фаулър стипендия за специализация в чужбина, която той разделя за посещения на Копенхаген и Гьотинген. В Копенхаген Мот обсъжда с Нилс Бор поразителното предсказание на Дирак в Кеймбридж, че електронът има спин, и започва работа по този проблем. За него е било твърде вълнуваща близостта до Бор и други прославени учени - Паули, Гамов, Хайзенберг, Хартри и др., които са посещавали известния институт на Бор. Преди да замине за Гьотинген, той се завръща за няколко месеца в Кеймбридж, където решава важен проблем, свързан с разсейването на алфа-частици. Чадуик, първият помощник на Ръдърфорд, бил силно впечатлен и завел Мот да се срещне с Ръдърфорд, който възкликнал: "Ако още нещо такова ти дойде на ума, ела да ми го разкажеш". Това е било истинско признание и по-късно Мот си спомня, че в този ден той е добил пълна увереност в способността си да работи като физик-теоретик.

Докато е в Гьотинген, където се надява да работи с Макс Борн - възможност, която не се осъществява поради влошеното здраве на Борн, Мот получава предложение да чете лекции в Манчестърския университет, което той приема. Изнесените от него курс лекции по вълнова механика води до написването на първата му книга "Основи на вълновата механика", когато той е на 25 години. Именно в Манчестър неговият интерес се насочва към свойствата на материалите, стимулиран без съмнение от възможностите на новата техника на рентгеновата кристалография за определяне структурата на

кристалите - метод, за който У. Л. Браг е удостоен с Нобеловата награда заедно със своя баща У. Х. Браг.

През 1930 г. Мот се завръща в Кеймбридж и заема изследователска длъжност в колежа "Гонвил и Каюс". Вече женен, той установява, че физиците-теоретици са на по-голяма почит в сравнение с времето, когато за пръв път стъпва в Кавендиш. Въпреки това главният интерес все още е насочен към атомната физика и 1932 г. е *Annus Mirabilis* на Кавендиш, когато е открит неутронът, разцепен е атомът и предсказанието от Дирак позитрон е за първи път наблюдаван. Стимулиран от тази необикновена атмосфера и от предложението на Фаулър да напише книга за атомните стълкновения, Мот, в сътрудничество с Хари Маси, създава класическата монография *"Теория на атомните стълкновения"*, претърпяла няколко издания.

## Бристъл

През 1933 г. Мот за първи път оглавява катедра като професор по теоретична физика в Бристълския университет. В продължение на шест години, до избухването на Втората Световна война, той превръща Бристъл в един от водещите центрове по физика на твърдото тяло. Неговото схващане, към което се придържа до края на живота си, е, че теоретиците и експериментаторите трябва да работят в тясно взаимодействие. Макар че днес мнозина разбират предимствата на такова сътрудничество, подобна политика никога не е била лесна за осъществяване. Талантът на Мот да съчетава теорията с експеримента, да убеждава двете страни да се заемат с общи проблеми и практически да се размива различието между двата подхода е една от характерните му черти, които не се забравят. В Бристъл той целенасочено не създава отделни теоретични и експериментални секции, което на други места е обичайно.



*Преподавателският състав на Физическия факултет в Бристълския университет, 1935 г.*

*Първи ред, отляво надясно: У. Съксмит, Х. Скинър, Г. Харпър, Л. Джаксън, Н. Мот, А. Тиндал, С. Пайпър, И. Уилямс, Х. Потър, У. Хайтлър;*

*Втори ред: ... Хънтли, С. Уилямс, К. Фукс, Х. Джоунс, Е. Епълърд, ... Бейбър, В. Кослет, С. Пауел, Дж. Бароу, К. Уорноп, А. Пиърс;*

*Трети ред: Р. Търни, Л. Франк, Х. Уърди, У. Харпър, ... Мърсър, А. Львъл, Н. Томсън.*



С прилагането на квантовата механика за обяснението на свойствата на металите и на разликата между метали и полупроводници са постигнати големи успехи в Европа и особено в Германия. Изпъкват работите на Зомерфелд, Блох, Пайерлс и Бете, така че Мот продължава тази традиция. В лицето на Хари Джоунс, ученик на Фаулър, той намира ентузиазизиран поддръжник и те двамата написват известния учебник *"Теория на свойствата на металите и сплавите"*. Колкото и странно да се вижда на стотиците специалисти по физика на твърдото тяло, които са изучавали квантовата механика на твърдите тела по този учебник, книгата първоначално не е добре приета от другите теоретици, които я намират недостатъчно строга. Фактически това е теория, приложена към пряката интерпретация на експериментални данни, богато гарнирана с интуитивни идеи, които надхвърлят формалния подход, когато строгият теоретичен анализ не върши работа. Този прагматичен подход, който дразни чистите теоретици, но е любим на експериментаторите, нуждаещи се от конкретни формули за анализ на експерименталните си данни, не е изключение за стила на работа на Мот.

Членовете на Бристълската изследователска група неотдавна споделиха вълнуващи спомени за стимулиращата атмосфера, създавана от Мот. На миниконференциите, организирани от него с голям усет за тематика и разпределение по време, Мот създава условия участниците да излявят най-доброто от своите изследвания и замисли. На такива дискусии в Бристъл са решени редица проблеми, свързани със загадъчните свойства на металите, а постигнатият напредък е важен не само за физиката на твърдото тяло, но и за промишлената металургия.

През тези шест предвоенни години в Бристъл Мот не се ограничава само с физиката на металите. Той започва изследвания върху полупроводниците - област, към която ще запази привързаност в продължение на десетилетия. Първоначалният стимул идва от Роналд Гърни, който идва от Манчестър и който подобно на Мот притежава забележителния талант да си представя твърдото тяло със съставящите го атоми и електронни вълни, без да се нуждае от подробни пресмятания. Заедно те написват друга книга "Мот и Х" (в този случай Х е Гърни), озаглавена *"Електронни процеси в йонни кристали"*. Те поставят основите на изследванията на цветни центрове в алкалните халогениди, като описват съответните дефекти посредством ваканции на отрицателни йони. Разработват също физиката на фотографските процеси и обясняват защо падащата върху зрънце от сребърен бромид светлина произвежда сребърно петно - латентния образ. През 1940 г. за тези работи Мот е награден от Кралското фотографско общество с медала "Харкър и Дрифилд". Четири години по-рано, на 31-годишна възраст, той е избран за член на Кралското общество.

Личните качества и човечността на Мот се изявяват особено силно при немската окупация на Судетите, когато започва движението за спасяване на децата от еврейски произход в Чехословакия. Той и съпругата му Рут, подпомогнати от сестра му Джоан, приютяват двете малки момичета на еврейски музикант. Лили и Илзе Шпилман, които след войната остават в Англия, си спомнят с вълнение и благодарност тези дни.

### **Войната и завръщането в Бристъл**

По време на Втората световна война Мот участва в различни дейности по отбраната на страната, свързани главно с радарите, фрагментирането на снаряди, дислоцирането на прожектори и общи теоретични изследвания върху различните оръжия. През 1940 г. той заменя Блекет като научен съветник на командването. Когато открива, че броят на

свалените от Британските ВВС вражески самолети е значително преувеличен, командването го съветва да не разкрива тези наблюдения, преди войната да е завършила! По това време Мот написва статия, в която обяснява защо германските снаряди, които са произвеждани от стомана с по-високо съдържание на въглерод, се раздробяват на по-малки парчета в сравнение с британските снаряди. Няма съмнение, че доклад по този въпрос все още се намира в американските лаборатории за артилерийски изследвания. Почти по същото време Кралското общество го награждава с медала "Хюз" за работите му отпреди войната.

През последните дни на войната на Мот са предложени катедрите по металургия и по теоретична физика в Кеймбридж, но уверението, че ако се върне в Бристъл, той ще наследи Тиндал като ръководител на факултета, го привлича обратно там. През 1948 г. той заема поста и веднага се заема да назначава нови сътрудници. Много от сътрудниците отпреди войната, например Скинър, Гърни, Хари Джоунс, Хайтлер и Фрьолих, вече са на работа в други институти. На техните места Мот назначава хора като Джек Мичъл (сега завеждащ катедра в Университета на Вирджиния; той показва, че при фотографския процес среброто се акумулира предимно по дислокациите), Чарлз Франк (който създава нови теории на дислокациите и на кристалния строеж и предсказва т. нар. източници на Франк - Рийд), Дърк Полдър като старши теоретик, Жак Фридел (който се оженва за балдзата на Мот, а по-късно се завръща в Париж, където ръководи изследванията по твърдо тяло) и Никълъс Кабрера, който заедно с Мот работи теоретично върху въпроса защо алуминият и неръждаещата стомана не ръждясват. Този нов състав отново превръща Физическия факултет на Бристъл във водеща изследователска група. През 1949 г. Мот публикува първата си статия върху преходите метал-диелектрик - проблем, който ще го интересува до края на живота му. Това е периодът, когато става откриването на транзистора в лабораториите "Бел" в Америка, и Мот следи с интерес развитието на проблема. По-късно той ще предложи теория на ефекта, станал известен като бариери на Мот и Шотки в полупроводниците.

Административните задължения забавят личната изследователска работа на Мот към края на Бристълския период (т.е. до 1954 г.). Той става декан на Факултета по естествени науки, член е в правителствени комитети и е избран за Президент на Физическото общество, като по този начин едновременно ръководи и неговото обединение с Физическия институт. Заедно с това е главен редактор на *Philosophical Magazine* и е председател на съвета на издателството на това списание *Taylor & Francis*. Още една дейност ангажира времето на Мот в продължение на много години - това е участието му в кампанията против създаването на британска атомна бомба и преди всичко председателският пост на Асоциацията на учените-атомисти, която си поставя за цел да разяснява на широката публика реалните факти относно ядрената енергия и да изследва проекти за нейния контрол.

### **Кавендишка професура**

През 1955 г. на Мот е предложено ръководството на Кавендишката катедра по експериментална физика в Кеймбридж, тъй като година по-рано Сър Лорънс Браг си е подал оставката. В своята автобиография Мот си спомня, че мисълта да напусне Бристъл не го е правела особено щастлив, но от друга страна не би могъл да откаже на предложението да поеме щафетата от Джеймс Кларк Максвел, Лорд Рейли, Ърнест Ръдърфорд и Лорънс Браг - предшествашите ръководители на тази престижна катедра. На пръв поглед може да изглежда странно, че титлата Професор по експериментална

физика е предложена на теоретик, но с изключение на Ръдърфорд, никой от предишните титуляри не е бил основно експериментатор. Едно от първите решения на Мот, взето даже преди да е заел длъжността, е да спре плановете за построяване на линеен ускорител за физиката на елементарните частици - не защото е срещу подобни изследвания, а защото не вижда как тази машина би могла да се конкурира с аналогични американски инсталации.

Преместването обратно в Кеймбридж е последното на Мот; той остава там не само до своето формално оттегляне през 1971 г., но и през следващите 25 години. При назначаването му проф. Ф. Зайц, известният американски специалист по физика на твърдото тяло, му пише:

*Драги Мот,*

*От няколко седмици непрекъснато се говори, че си приел да станеш директор на Кавендишката лаборатория. Най-горещи поздравии. Докато бяхме в Токио, аз се обзалагах с колегите, че така ще стане, доколкото нямаше по-логично решение на въпроса. Моята преценка или е добро попадение, или е много дълбока. Няма съмнение, че ще бъдеш твърде зает през лятото и че на различните конференции ще можем само за малко да те зърваме. Във всеки случай ние всички се надяваме, че Бристъл ще съумее да запази нивото си и ще остане водещия изследователски център, какъвто ти го направи.*

*С най-искрени поздравии, Фредерик Зайц*

Това, че Кеймбридж е твърде различен от Бристъл, става ясно още при представянето на Мот в Кавендиш. Неговият първи допир е с административния директор на факултета. "Какви проблеми има при вас?" - пита го Мот. Последвал отговор: "А, професоре, тъкмо исках да говоря с Вас за Кавендишкия мач по крикет - старши преподаватели срещу асистенти".

Като Кавендишки професор Мот отделя голяма част от времето си за административни дела. Една от задачите, които си поставя, е да реформира Националния трайпъс по природни науки така, че студентите да могат в по-ранен стадий от обучението си да специализират физика. Друга негова цел е да промени програмата за обучение по физика в училищата посредством фондацията "Нътфийлд". Като председател на консултативния комитет на тази институция му се налага да търси компромисни пътища между схващането за "научаване чрез правене", според което учениците се насочват към самостоятелно откриване на природните закони главно по експериментален път, и идеите, залегнали в неговото собствено обучение, според които до законите на физиката се стига по математически път, който позволява по-ясно да се изрази тяхната валидност и красота. Компромисът в голяма степен довежда до успешно решение. Като член на Сенатския съвет Мот успява да прокара важни решения, едно от които е създаването на първия научен парк в колежа "Тринити", с което към града са привлечени производства, прилагачи науката в най-голяма степен. Днес повечето университети на Великобритания имат свои собствени научни паркове.

През 1959 г. Мот е избран за ректор на колежа "Гонвил и Каюс". Негов предшественик е Сър Джеймс Чадуик, известният ядрен физик, който през 1932 г. откри неутрона и който по-късно по време на войната стана основен двигател на сътрудничеството

между Великобритания и САЩ в Манхатънския проект. Оттеглянето на Чадуик е преждевременно и е свързано с вътрешни недоразумения сред преподавателския състав на колежа, поради което Мот е призван да поправи положението. Ректорството на няколко колежа в Кеймбридж не налага той да се оттегли от Кавендишката катедра, но изисква голямо напрежение от негова страна. След шест години той си подава оставката като ректор на "Гонвил и Каюс", след като е въвел редица положителни реформи, съобразени със съвременните изисквания на обучението. През този период Мот продължава да се занимава с контрол на ядреното въоръжаване и колежа става домакин на Пъгуошката конференция.

## **Некристални твърди тела**

Когато през 1967 г. настоящият автор постъпи на работа в Кеймбридж, Мот все още ръководеше Кавендиш и отново беше насочил вниманието си към физиката на твърдото тяло. Интересът му към преходите метал - диелектрик никога не беше отслабвал и когато му разказах за работата си в Университета на Илинойс по силно легирани полупроводници, които при концентрации на донорите или акцепторите над някаква критична стойност имат поведение на метали, той прояви много по-силен интерес, отколкото бях очаквал, тъй като аз не бях първият, който е правил такива измервания; проф. Фрицше в Чикаго и някои други бяха правили подобни и по-обстойни изследвания. С обичайната си необикновена проникателност Мот се досети, че преходът метал-диелектрик в легирани полупроводници е непосредствено свързан с едно теоретично изследване на Фил Андерсън за влиянието на неподредеността върху електронните състояния на твърдите тела. В класическата статия на Андерсън от 1958 г. (за която той по-късно казва, че "често я цитират, но рядко я четат") се показва, че безредието "локализира" електронните състояния и така ги прави различни от "разпределените" зоноподобни състояния. Преход метал-диелектрик възниква, когато нивото на Ферми пресича енергията, разделяща разпределените от локализираните състояния. Безредието, в случая на силно легирани полупроводници, се дължи на случайните положения на донорите и на електричните полета, свързани със заредените компенсирани акцептори. Мот успя да покаже, че критичната концентрация на примесите за " преход на Андерсън" е сходна на тази за "преход на Мот", чиято теория е основана върху съображения за екранировка. Разглеждайки електропроводимостта в диелектричната част на прехода, той формулира станалия по-късно известен като закон  $T^{-1/4}$  на Мот, който описва как токоносителите прескачат между локализираните състояния на разстояние, което зависи от температурата - т. нар. прескачане на променливи разстояния. Спомням си как той изведе този резултат на обратната страна на плик - пресмятане, което по-късно беше направено "строго", но по същество със същия резултат. Това беше началото на десетилетие, през което бяха изучени много неподредени системи и особено некристалните полупроводници и което завърши през 1977 г. с Нобеловата награда, която Мот раздели с Андерсън и Ван Флек.



*Празненство по случай съобщението за присъждане на Нобеловата награда по физика за 1977 г. съвместно на Сър Невил Мот, Ван Флек и Андерсън. Вляво е проф. Йозеф Щуке, с когото Мот сътрудничи повече от 10 години в областта на аморфните полупроводници*

Беше извънредно поучително да се наблюдава как Мот развива областта на аморфните полупроводници. По онова време много малко групи се интересуваха от тях. Макар че корпорацията Ксерокс в САЩ беше постигнала голям успех с тяхната първа "суха" фотокопираща машина, в която като фоторецептор се използваше аморфен селен, физиката на този процес не беше изяснена. В Съветския Съюз Коломиец работеше върху свойствата на стъклата; в Германия Щуке имаше малка група, а във Великобритания Спиър изучаваше транспортни явления в тънки филми германий и силиций. Мот съумя да обедини тези разпръснати дейности, като в познатите ръчно писани писма формулираше идеите си и новите резултати и ги пращаше на заинтересуваните групи. Организираше миниконференции (по същия начин, както беше правил в Бристъл), посещаваше лаборатории за лични дискусии, предлагаше теми за дисертации и пишеше ескизи на статии, които разпространяваше, за да получи коментари. По такъв начин той бързо стана централна фигура в една разрастваща се общност. По време на посещение в САЩ той се запознава с бизнесмена Овшински, който беше създал в Детройт малка компания, наречена Енергопреобразуващи устройства (ЕПУ), в която се изучават възможностите на некристалните материали. Овшински беше разработил два вида електронни превключватели на основата на халкогенидни стъкла - уреди, които повечето компании пренебрегваха като маловажни. Мот обаче мислеше другояче и се опита да обясни тяхното поведение в духа на новите идеи за проводимост в неподредени материали. Възможността за промишлено приложение на аморфните полупроводници имаше огромно въздействие върху развитието на тази област. Третата конференция от серията "Международна конференция по аморфни и течни полупроводници" (организирана ежегодно всяка година от 1965 г. насам) се състоя в Кеймбридж и броят на участниците беше тричетири пъти по-голям от предишните. Мот председателстваше повечето от сесиите, като почти за всеки доклад развиваше своите схващания и тълкувания. Понятията скокова проводимост, граници на подвижност, минимална метална проводимост, "правилото S-N", "релаксация на  $k$ -подборното правило" и др. бяха прибавени към речника на работещите в тази област, като повечето от тези идеи принадлежаха на Мот. Друго важно събитие в развитието на областта беше откритият от групата на Спиър начин да се легира аморфен силиций, което доведе до ново повишаване на интереса и до създаването на слънчеви клетки, тънкофилмови транзистори и други устройства за електронната промишленост. Тазгодишната (1997 г.) конференция от серията ще бъде 17-та по ред и ще се казва "Международна конференция по аморфни и

микросталинни полупроводници", като по традиция пак ще бъде открита с "лекция на Мот".

Работата на Мот в тази област не беше прекъсната от неговото пенсиониране през 1971 г. Първото издание на книга в съавторство с настоящия автор "*Електронни процеси в некристални материали*" беше публикувана през същата тази година, а второто издание, основно преработено, излезе през 1979 г. През следващите години той написа също "*Преходи метал-диелектрик*" (1974 г.) и книга за ученици "*Елементарна квантова механика*" (1972 г.). Когато Кавендишката лаборатория се премести в новата сграда в Уест Кеймбридж, Мот сътрудничеса с Абе Йофе и Майк Пепър в изследвания върху нискомерни кристали и силициеви инверсионни слоеве, както и с многобройните дошли от чужбина за дълготраен престой учени, привлечени в Кеймбридж от неговия нов взрив на научна активност и от интереса му към техните изследвания.

### **Последни десетилетия**

В края на 1980-те години Мот насочи вниманието си към друга област на важни научни открития - високотемпературната свръхпроводимост. В тази област той сътрудничеса главно със Саша Александров - руски теоретик, когото Мот успя да назначи в Кавендиш и с когото той написа още две книги. Областта е още твърде нова, за да се оценяват приносите на Мот в нея, но Мот продължаваше да насърчава и вдъхновява колегите си, млади и стари, даже след като беше прехвърлил деветдесетия си рожден ден - само по себе си поразително постижение.

През дългия си активен научен живот Мот остави траен отпечатък върху физиката на 20 век с неутолимия си апетит за нови области на изследване, с приносите си в науката, които ще продължат да се цитират и през следващото хилядолетие, и с топлото, приятелско и щедро отношение към многобройни колеги от различни страни.

Превод от английски (с незначителни съкращения): **Михаил Бушев**

(E. D. Davies. *Professor Sir Nevil Francis Mott*. Europhysics News, 28/3, 1997)

## **ЧЕТВЪРТА ГЕНЕРАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ НА БАЛКАНСКИЯ ФИЗИЧЕСКИ СЪЮЗ (ВРУ-4)**

Матей Матеев, проф. дфн,

*Физически факултет на СУ "Св. Климент Охридски"*

Генералните конференции на Балканския физически съюз се свикват през три години. Първата се състоя в Солун през 1991 г., втората в Измир през 1994 г., след това в Клуж през 1997 г., а четвъртата - във Велико Търново от 22 до 25 август 2000 г. Конференцията се проведе на територията на Великотърновския университет "Св. св. Кирил и Методи", разположен на хълма Света гора с величествена гледка към Търново и Царевец. Изключителната красота на мястото, на заседанията, без съмнение допринесе за приповдигнатото настроение на всички участници, които многократно изказваха възхищението си от направения избор.

На конференцията официално бяха регистрирани 448 участници от 18 страни; естествено с най-многобройни групи бяха представени страните-членки на Балканския физически съюз. Така Албания имаше 31 участника, България - 155, Гърция - 18, Македония - 26, Румъния - 77, Турция - 93 и Югославия - 24. Отделни участници пристигнаха от Германия, Франция, Япония, САЩ, Русия, Италия, Украйна, Великобритания, Португалия, Израел и Куба. Професионалните групи сред физиците бяха представени от 11 души учители в средните училища, 192 преподаватели във висши училища, 158 научни работници и 87 студенти и аспиранти. Последното число е забележително. За много от участниците ВРУ-4 беше първата изява пред международна общност от физици, специалисти в различни области на науката с много известни български и чуждестранни учени. Броят на регистрираните жени участнички беше 150, което е окуражаващ показател за професия и регион, които не се славят с голяма толерантност към научните изяви на нежния пол.

По време на конференцията бяха представени 247 устни доклада и 593 постера, разпределени в 18 секции: ядрена физика и ядрена енергетика, астрономия и астрофизика, физика на космоса, атомна и молекулна физика, физика на високите енергии, физика на кондензираната материя, оптика и лазери, плазма и физика на газовия разряд, теоретична и математична физика, компютърни науки, метеорология и геофизика, физика на околната среда, алтернативни източници на енергия, иконофизика, приложна физика, биологична физика, образование по физика, история и философия на физиката. Най-многобройни бяха съобщенията в секциите по кондензирана материя и приложна физика. В различните секции Програмният комитет покани 43 лектора, от които 31 бяха от чужбина и 12 от България. Поканените докладчици бяха сред най-изявените учени в своята област и задаваха високо научно равнище във всички секции. Част от тях бяха с български произход, но работещи в някои от най-известните научни центрове в света: Пиер Петров (Франция), Сергей Петков (Италия), Златан Цветанов (САЩ), Иван Костов (Франция), Стефан Плачков (Франция), Румен Божков (Швейцария). Поканените докладчици от България бяха сред водещите учени от нашата страна - академиците Иван Тодоров, Венцеслав Андрейчев,

Стойчо Панчев, професорите Иван Лалов, Йордан Стаменов, Алаксандър Петров, Антон Антонов, Димитър Пушкаров, Младен Георгиев, Георги Младенов, Чавдар Стоянов, Борислав Славов, Соломон Салтиел, Никола Балабанов. Поканени доклади изнесоха и силни учени от другите балкански страни: Агим Минджози и Мимоза Хафизии от Албания, Димитри Фотинос, Христос Зерефос, Ефстатис Полихрониадис, Антонесис Ламброс, Йорданос Стоименос от Гърция, Виктор Урумов и Лиляна Яникиевич от Македония, Емил Бурзо и Виореа Поп от Румъния, Янис Скарлатос, Низаметин Ердурани и Метин Арик от Турция и Джордж Бек-Узаров от Югославия.

Особен блясък на конференцията придадоха така наречените от организаторите доклади от общ интерес, предназначени да запознаят най-широката аудитория от физици с последните новости в голямата наука. Ярък и запомнящ се доклад за произхода на космическите лъчи изнесе сър Арнолд Улфъндейл, председател на Европейския физически съюз и кралски астроном. Неговото присъствие като лектор и участник в многобройни дискусии извън залите остави у много участници неизгладимо впечатление. С острите си и често провокативни твърдения и забележки той се превърна в любим обект и на многобройните журналисти, отразяващи конференцията.

Физиката на високите енергии беше представена с три доклада от общ интерес. Вилбур Венюс (Великобритания) разказа увлекателната история за лова на призрачната частица на Хигс на ускорителя LEP-2 в ЦЕРН. Заедно с него слушателите преживяха огромното напрежение и надежди на специалистите по ускорителите, изцеждащи максималните възможности на 27-километровия ускорител със свръхпроводящи магнити и на експериментаторите търсейки събития, вероятно в опашката на гаусовото разпределение по енергия на частицата-фантом. Пиер Петров (Франция) ни поведе в друга увлекателна сага тази на най-мощния протонен ускорител в света - Теватрона на ускорителната лаборатория Ферми в САЩ. Очевидно е, че след закриването на LEP и преди построяването на LHC в края на 2005 г. центърът на физиката на високите енергии отново ще се премести в САЩ. Чувстваше се голямото желание на лектора да привлече млади български физици да работят на експериментите в САЩ разбира се в европейски отбори. Сергей Петков (Италия), един от най-големите специалисти в света по физика на неутриното, разказа последните новости в тази област и нейните перспективи в близко бъдеще. Вече може да се смята за установено, че трите типа неутрина имат малки и различни маси, които могат да обяснят наблюдаваните аномалии в потоците на атмосферните и слънчевите неутрина. Силен интерес предизвикаха и предсказанията от Петков и Чижов нови ефекти при преминаването на неутрина през мантията и ядрото на земното кълбо.

Докладът на Франк Побел (Германия) за неочакваната връзка на ядрения магнетизъм със свръхпроводимостта поведе участниците в нов свят - този на свръхниските температури отличаващи се на милионна част от градуса от абсолютната нула. Отново участниците със затаен дъх слушаха за неочакваните свойства на материята в екстремални условия.

Кения Гото (Япония) поведе аудиторията в друга област на приложната физика и високите технологии. Удивително нагледно и увлекателно той разказа за това как основните физически знания за материалите дават възможност да се правят чудеса при конструирането на терабайтови, евтини и компактни оптически дискове.



С краткото си, но забележително присъствие на конференцията се запомни и един от тримата директори в директората "Научни изследвания" на Европейския Съюз - Кристиан Патерман. Патерман има ярка научна биография като физик и като организатор на науката - бил е немски представител в Съвета на ЦЕРН и негов председател през осемдесетте години. Днес е един от ръководителите на Европейския съюз в областта на науката. Той запозна участниците със смисъла, целите и задачите на научните програми на Съюза, както и с възможностите, които те предлагат пред балканските страни, особено на Гърция, Румъния и България, за които те са напълно отворени. С голямо значение за нас беше твърдението, че европейските програми са насочени към решаване на задачи с общо европейско значение и че всяка страна отделно от това трябва да има сериозна и обемна национална научна програма.

В рамките на това кратко съобщение не могат даже бегло да бъдат описани всички интересни доклади на ВРУ-4. И все пак не трябва да се отминат блестящите лекции на Иван Тодоров за конформните теории на полето и на Иван Костов за математиката и физиката на струните, на Румен Божков за озоновия слой, на Златан Цветанов за свръхмасивните черни дупки в ядрата на галактиките, на Йордан Стоименов за новите силициевии технологии, на Димитър Пушкарков за транспорта на квазичастици, на Чавдар Стоянов, Венцеслав Андрейчев и Антон Антонов, които със своите лекции придадоха на секцията по ядрена физика наистина европейско звучене, на Деметри Фотинос и Александър Петров в секцията по биологична физика, на Йордан Стаменов в секцията по екология и на Иван Лалов, който разказа за интересни оптически явления на границата на оптично активна среда.

Като цяло и в научен и в организационен план конференцията премина на нормално европейско равнище. Даже високите летни температури не изпъдиха тяхната активност. По време на почивките, на обедното двучасово прекъсване се водеха оживени дискусии, завързваха се познанства, уговаряше се бъдеща съвместна работа. Не се почувства никакво напрежение на национална основа - българи, гърци, македонци, сърби, албанци, румънци и турци делово и приятелски обсъждаха трудностите си и с радост деляха един с друг обща маса. Организаторите се бяха постарали всяка вечер да предвидят някаква колективна проява. Участниците видяха спектакъла "Светлини и звуци" по сценарий на Вълло Радев на хълма Царевец, чудесен фолклорен концерт на детския ансамбъл "Велико Търново", проведеха незабравима вечер с много танци и забавления на терасите на интерхотел "Велико Търново". За участниците бяха организирани многобройни екскурзии - Арбанаси, Дряново, Боженци, Етъра, търновските манастири. С радост наблюдавахме развълнуваните лица и слушахме впечатленията на завръщащите се от тях участници.

Великотърновските домакини на ВРУ-4 - ръководството и служителите на Търновския университет, на студентските столове и общежития съдействаха изключително отговорно и ефективно за доброто протичане на конференцията. Студентските общежития, в които спяха голяма част от участниците, бяха в отлично състояние. Администрацията на великотърновската община и РДВР оказаха ефективно съдействие. Искане ми се да отбележа и безкористната и всеотдайна помощ, оказана ни от Търновския клон на Съюза на физиците в България, от най-младите участници в конференцията - членовете на астроклуба във Велико Търново и групата от дванадесет очарователни студенти и студентки от Великотърновския университет. Разбира се и софийската част на оргкомитета се оказа на висота - колективът, към който в Търново

се присъединиха и аспирантите от Софийския университет, се справи блестящо с организацията на тази сложна конференция.

Естествено една такава проява е немислима без участието на многобройни спонсори. ЮНЕСКО беше най-големият, ИНТРАКОМ (Гърция) е с втори сериозен принос. Солунският клон на Съюза на физиците в Гърция, Турският балкански физически проект, Гръцката национална банка, Физическият факултет на СУ, списанието Болкан Физикс Летърс, Издателството на Софийския университет, фирмите Опти-Вю, Демакс и Кодак допринесоха съществено за успеха на конференцията. Както винаги КИАЕМЦ също беше причастен към провеждането на конференцията.

На всички тях изказваме най-голяма благодарност за заинтересоваността им в поддържането на науката и научните контакти на Балканите.

По време на ВРУ-4, както и винаги досега, се състоя заседание на висшия орган на Балканския физически съюз - Съвета. На него присъстваха по трима делегати от всяка страна: Албания, България, Гърция, Македония, Румъния, Турция и Югославия. Почетен гост беше сър Арнолд Улфъндейл, председател на Европейския физически съюз. Беше избрано новото старо ръководство на съюза - президент Христос Зерефос, вице-президент - Матей Матеев, научен секретар - Евстатис Плихрониадис, секретар - Атанасис Ламброс и отговорен за общите научни проекти - Низаметин Ердуран. Съветът и Конференцията приеха обръщението към правителствата на балканските страни, наречено "Солунски манифест" (поради това, че беше изработено по време на срещата на Програмния комитет на ВРУ-4, състояла се на 27 и 28 май 2000 г. в Солун). Манифестът е обръщение за по-добро отношение и финансиране на научните изследвания и образованието по физика.

Накрая ще кажа, че всички данни за ВРУ-4, включително програмата и списъкът на участниците, могат да бъдат намерени в web-страницата на конференцията: [www.phys.uni-sofia.bg/bpu-4](http://www.phys.uni-sofia.bg/bpu-4).

\*\*\*

## **КОНКУРСЪТ "ФИЗИКАТА В СЪВРЕМЕННОТО ОБЩЕСТВО"**

Конкурсът "Физиката в съвременното общество" на Съюза на физиците в България и фондация "Еврика" бе адресиран към учениците от средните училища. Заглавието не беше избрано случайно. Той кореспондира с решенията на 23-та генерална асамблея на Международния съюз по чиста и приложна физика, състояла се през август 2000 г. в Атланта, САЩ. В тях е обърнато внимание на физиката като "съществена част от образователната система и важен елемент на едно напреднало общество" и на ключовата ѝ роля за бъдещия прогрес на човечеството. Конкурсът е и част от европейската проява "Физиката на сцената", чиито инициатори са водещите европейски научни организации, Европейската лаборатория за физика на частиците (CERN), Европейската космическа агенция (ESA) и Европейската южна обсерватория (ESO) и в която България също участва.

Главните цели на конкурса бяха:

- да се изтъкне ключовата роля на физиката за решаването на редица проблеми в съвременното общество;
- да се покаже приносът на физическите знания за развитието на модерните технологии, определящи развитието на съвременното общество;
- разширяване научната грамотност на учащите се;
- развитието на инициативността и творчеството на участниците;
- разширяване уменията на учениците да боравят със съвременните информационни средства;
- разширяване и обогатяване знанията за връзката на физиката с другите природни науки.

Компетентни журита от специалисти под председателствата на авторитетните преподаватели и учени: доц. дфн Людмил Вацкичев от СУ "Св. Кл. Охридски" - тема "Физиката в нашето ежедневие", доц. д-р Венцеслав Тодоров от Медицински университет в София - тема "Може ли медицината без физика", ст.н.с. I ст. д-р Петър Иванов от Института по метеорология и хидрология - БАН - тема "Нови енергийни източници" и доц. дфн Емил Вапирев от СУ - тема "Ядрената енергетика на XXI век", след внимателно рецензиране на представените писмени разработки и изслушване на устната им защита в първите два кръга, определиха 18-те участници в заключителния етап на конкурса. Той се проведе на 24 юни 2000 г. в 22 СОУ "Г. С. Раковски". Силно впечатление направи изключителната отговорност, с която учениците са подхождали към разработването на темите, както и използването на съвременните информационни средства за илюстрирането на тезите им. Журито, председателствано от г-н Роберт Попиц, член на УС на СФБ и зам.-председател на КИАЕМЦ, определи наградите за най-добро представяне в заключителния етап.

По темата "Физиката в нашето ежедневие" наградата бе присъдена на Николай Бобев, XI кл. в Първа езикова гимназия, Варна, за научната разработка "*Холографията*",

отличаваща се със задълбоченост, прецизност при описание на същността на холографията и нейните приложения и убедителна защита на тезата на автора за перспективите на нейното развитие. Неговото заключение е:

*"Холографията е интересна и увличаща област на съвременното познание. Тя обогатява с нови методи и средства научно-техническите изследвания, изобразителното изкуство, възможностите за общуване между хората, както и съхраняването и разпространението на информацията във всички области на нейното приложение".*

По темата "Може ли медицината без физика" бе наградена Евгения Нейчева, X кл. в 91 Немска езикова гимназия, София, за научната разработка *"Може ли медицината без физика"*. Вместо да прекара зимната ваканция в почивки и забавления, както отбелязва в уводната част авторката, тя започва да събира информация за написване на реферата си, в който разглежда физическите методи, използвани в диагностиката (от класическите до компютъризираните). Точното и увлекателно изложение на фактите, както и илюстративните материали предават убедителност на нейните заключения:

*"Трудно е да си представим съвременната медицина без методите на образната диагностика, без многостранното приложение в диагностиката и лечението на лазерите, без оптичния и електронния микроскоп ... А от тук - трудно е да си представим медицината без постиженията на природните науки и най-вече на физиката. Физиката дава на медицината един мощен апарат от теории, експериментални методи и технически средства за изследване на физиологичните процеси на всички структурни нива. Без физиката е немислимо моделирането на тези процеси в норма и патология. Физиката предоставя възможности за обективна оценка на въздействието върху човека на различни природни техногенни фактори, важно за диагностиката и лечението, за хигиената и профилактиката. Науката започва от човека и трябва да се развива в негова полза. Затова е много важна сравнителната оценка на конкурентните методи за диагностика и лечение. Методите трябва да се разглеждат в единен контекст, подчинен на най-общото правило: ползата от тяхното прилагане да превишава риска от уврежданията."*

По темата "Ядрената енергетика на XXI век" журито присъди наградата на Катерина Манчева, XI кл. в Първа езикова гимназия, София, за разработката *"Ядрената енергетика в България през XXI век"*, за което допринесоха много доброто познаване на действителните проблеми пред АЕЦ "Козлодуй", осведомеността за проблемите на АЕЦ "Белене", както и добрият стил на изложение и убедителното заключение:

*"И така виждаме, че реалните възможности са малко - АЕЦ "Козлодуй" 1-4 подлежи на затваряне, а АЕЦ "Белене" не е желан. Надеждата е скрита в новите енергийни източници. Най-важният от тях е слънчевата енергия. Биомасите и вторичното използване на битови и промишлени отпадъци също се смятат за перспективен източник на енергия. Геотермалните извори са много в страната, но могат да се използват само за оранжерийно производство. Океанските приливи не достигат страната ни, а силата на вятъра е неовладяна у нас. Енергията на речните течения е добра възможност за получаване на енергия. Ала и най-оптимистичните предвиждания не посочват за новите технологии повече от 1-2 % в общото национално електропотребление. За това отправяме поглед единствено към ядрената енергетика като основен и*

*реален ресурс. Нашата страна се нуждае от АЕЦ, бил той "Козлодуй", "Белене" или някой друг, защото, колкото и мощни да се ВЕЦ, ТЕЦ или ПАВЕЦ, те не могат да заместят ядрените сили. Позволете да завърши с цитат на проф. Маргарет Макси: "Геополитическите сили, които сега се възправят срещу ядрената енергетика, може би ще се поздравят като победители, но за тях това ще бъде пирова победа. Поради непрекъснато растяща нужда от енергия, която нашето поколение започва да изпитва на своя гръб, в съвсем близко бъдеще те ще се окажат в положението на победени."*

По темата "Нови енергийни източници" най-пълно и детайлно бяха разгледани както новите енергийни източници, така и възстановяемите такива в разработката на Даниел Симеонов, IX кл. в СОУ "В. Левски", Севлиево, "Алтернативни източници на енергия". Той заслужено получи и наградата по тази тема. Впечатление направи и заключението на реферата му:

*"През цялата си история човек се е стремил да живее по-дълго и по-добре. Това проличава най-вече в наши дни, когато човечеството като цяло хвърля огромни средства за откриване на ваксини и лекарства за болести като рак и СПИН и всеки поотделно преследва охолол живот и материални богатства. Всички тези дейности обаче са свързани с разход на енергия и колкото повече неща се стремим да произвеждаме и притежаваме, от толкова повече енергия се нуждаем. Не случайно като показател за развитието на една страна се смята потреблението на енергия от нейното население ... Безскрупулното преследване на печалба ще доведе до самоунищожението на човечеството ... Ако продължаваме да експлоатираме така хищнически планетата, на която живеем, просто в разстояние на 1-2 столетия няма да е останало кой да се разболе ... Проблемът е, че съвременният прогрес се гради основно на изчерпаемите невъзобновими ресурси и, което е по-лошо, използва ги по начин, който нарушава екологичното равновесие ... Не си мислете, че съм против съвременния прогрес и удобствата ... Всъщност съм много радостен, че благодарение на научно-техническата революция мускулната сила се замени с тази на машините. По-скоро съм против общоприетото твърдение, че прогресът е винаги хубаво нещо ... Целта на всички нас е да намерим пътища за решаването на глобално-суровинно-енергийния и глобалния екологичен проблем. ... Изводът е, че всичко зависи от нас и може би, за да променим нещата в глобален мащаб, първо трябва да започнем от себе си и да отстраним или поне намалим вредата, която поотделно като индивиди нанасяме на природата. Защото един човек замърсява малко, но 6 млрд. по толкова?... Също като при термоядрения синтез - при синтеза на един He атом се отделят само 8 MeV енергия, но огромният им брой я увеличава многократно ... Ако поне част от икономическата печалба се изразходва за научни изследвания, човечеството си гарантира такава и за в бъдеще ..."*

С голямата награда за най-добро представяне в заключителния етап заслужено беше отличена Петранка Крумова, абсолвентка от НПМГ "Акад. Л. Чакалов" за научната разработка "Лазерът в медицината". Журито беше впечатлено от задълбочените познания на авторката не само в областта на физиката, но и в медицината, ясно и точно изложение, богатия илюстративен материал, убедителната устна защита. В доклада се разглеждат:

*"... възможностите за използване на монохроматичната и кохерентна светлинна емисия в диагностиката на редица заболявания и последващото им третиране, както*

*... Широката сфера на приложение и влияние на лазерите се дължи на тяхната висока ефективност, изключителна прецизност и ниска степен на риск при точно подбрани параметри на лазерния сноп. Всички тези предимства са следствие от уникалните свойства на лазерното лъчение - монохроматичност, кохерентност, насоченост и яркост.*

*... Задълбочените изследвания на учените в областта на лазерната физика предоставят на медицината незаменима по своите качества апаратура, базирана на лазерното лъчение. Направените дотук проучвания и постигнатите резултати определят лазера като значим по своите мащаби спътник на съвременната медицина в борбата ѝ с множеството коварни заболявания, тероризиращи човечеството".*

Всички участници в заключителния етап на Националния конкурс получиха целогодишен абонамент за сп. "Светът на физиката", печатан орган на СФБ, а Съюзът на учените в България награди с целогодишен абонамент за сп. "Наука" учениците Петя Дечева и Иво Велинов от СОУ "Максим Райкович", Дряново, Татяна Донова и Игнат Пиндиков от Първа английска гимназия, София и Деян Петков и Даниел Симеонов от СОУ "В. Левски", Севлиево. Специален абонамент за сп. "Наука" и сп. "Светът на физиката" получи СОУ "В. Левски", гр. Севлиево за цялостно много добро представяне в двата кръга и в заключителния етап на конкурса.

По предложение на ст.н.с. I ст. д-р П. Иванов допуснатите до заключителния етап разработки на тема "Нови енергийни източници" бяха представени на изложба в изложбената зала на Съюза на архитектите в България, посветена на Деня на Слънцето, а по предложение на г-н Р. Попиц и доц. дфн Е. Вапирев разработките на тема "Ядрената енергетика на XXI век" бяха изпратени в Информационния център на АЕЦ "Козлодуй" поради интересните идеи и предложения в тях, върху които специалистите заслужава да се замислят.

Какви са **впечатленията** от представените в заключителния етап разработки и тяхната защита, която протече под формата на дискусия с останалите участници, журито и присъстващите в залата:

Участниците в конкурса показаха широки познания върху физическите основи на проблемите и връзката на физиката с другите науки и технологиите, свободно боравене със съвременните информационни средства, задълбочен анализ на проблемите, силно изразени патриотични, обществени и граждански позиции, тревога за замърсяването на околната среда, изложиха интересни предложения (някои от които изглеждат утопични в момента, но нека си припомним, че и техническите идеи на Леонардо да Винчи са изглеждали някога утопия), изказаха свои виждания по проблемите и представиха научен апарат и илюстративни материали, посочваха и анализираха данни от социологически проучвания на общественото мнение и от правителствени документи. Наличието на неточности в дефинициите, представени данни и непълноти в някои реферати се дължат на изложения, надхвърлящи рамките на изучаваното в училище. Това, разбира се, не омаловажава стойността на разработките. По-важно е, че участниците в конкурса са се постарали да осмислят и допълнят учебния материал, проявили са инициативност и творчески умения, открили са "скритото съкровище" на научното познание.

Ето и някои интересни мисли от някои от разработките (подбрали сме изразяващи лично мнение, предложения и обобщения):

Павлина Рашкова, IX кл., СОУ "В. Левски", Севлиево:

*"В бъдеще трябва да се мисли за "хибридно" решение на проблема (термоядрения синтез - б.р.) чрез съчетаване на силните и слабите страни на ядрения и термоядрения реактор. За поддържане на работния режим на реактор с дялящо се гориво са необходими неутрони, които се образуват при деленето, а отделяната енергия не е необходима за самия процес. При работа на термоядрения реактор положението е точно обратното - за поддържане на термоядрена реакция е необходима енергия, неутроните са излишни. За това може да се проектира "комплексен" реактор - термоядреният реактор може да бъде обкръжен от обвивка, която сама по себе си представлява ядрен реактор, работещ с дялящо се гориво ... Все още трябва да бъдат изяснени положителните страни и рисковете, но не бива да се съмняваме във възможностите на науката и инженерната мисъл ...  
... Във времето, когато опасността пред цялото човечество от по-нататъшно замърсяване е голяма и във времето на възможностите за съкращаване на военните бюджети правителствата би следвало да осъзнаят своя дълг към сегашните и бъдещите поколения.  
Младото поколение желае да живее. Това свое желание то трябва да отстоява, като се включи активно в решаването на световните проблеми, опирайки се на науката."*

Игнат Пиндиков, I АЕГ, София:

*" ... На първо място трябва да погледнем сериозно на задаващата се енергийна катастрофа, а после нека да бъдем реалисти. Безсмислено е да се ровим в прекалено метафизичните теории за алтернативните енергийни източници, макар че много от тях имат бъдеще, но то е свързано с милиардни първоначални инвестиции на изследване и експериментите стигат до създаване на стоки и процеси, напомнящи повече детска игра. Слънчевата енергия в Швеция, вятърната енергия на Екватора, енергията на морските вълни в Сахара, термоядреният синтез са невъзможни, защото природата е едно хармонично цяло и тя определя къде човек би могъл да я използва. Решението е далеч по-просто. Без съмнение това е ядрената енергетика и природният газ ...  
Време е ние, българите, да разберем, че страна с неразумно, некачествено и разхитително производство, както и държава, прехранваща се от туризъм и земеделие, няма да намери мястото си сред богатите и силни икономически държави. Задаващата се енергийна криза предлага и големи възможности. Изцяло от нас зависи дали ще се възползваме."*

Деян Петков, СОУ "В. Левски", Севлиево:

*"... Стремешът на човечеството към ново и по-добро бъдеще ще бъде вечен ... Новите видове енергийни източници трябва да бъдат абсолютно чисти. Това се налага поради огромното глобално замърсяване на околната среда, причинявано най-често от остарелите начини за придобиване на всички видове енергия. Ако сами не се грижим и използваме това, което имаме рационално, трябва да бъдем сигурни, че скоро ще го загубим."*

На фона на песимистичните прогнози за бъдещето на страната ни, тиражирани от повечето масмедии, националният конкурс "Физиката в съвременното общество" показва "обратната страна на медала" - млади хора, които не само на думи мислят за бъдещето на България, но и се подготвят и желаят да участват в решаването на проблемите, стоящи пред обществото. Бъдещето си участниците в конкурса виждат като лекари, физици, инженери, учени - активни съзидатели на един по-добър свят. И ако запазят поне част от идеализма, оптимизма, любознателността, любовта към науката и чувството си за отговорност вече като утвърдени професионалисти, ще имаме пълно основание да смятаме, че конкурсът "Физиката в нашето ежедневие", организиран от Съюза на физиците в България и от фондация "Еврика" им е помогнал да се изградят като умни и мислещи личности, знаещи силата и възможностите на науката.

Пенка Лазарова

\*\*\*



## IN MEMORIAM

### **Проф. Д-р Нено Петров Иванчев**

**(1921 - 2000)**

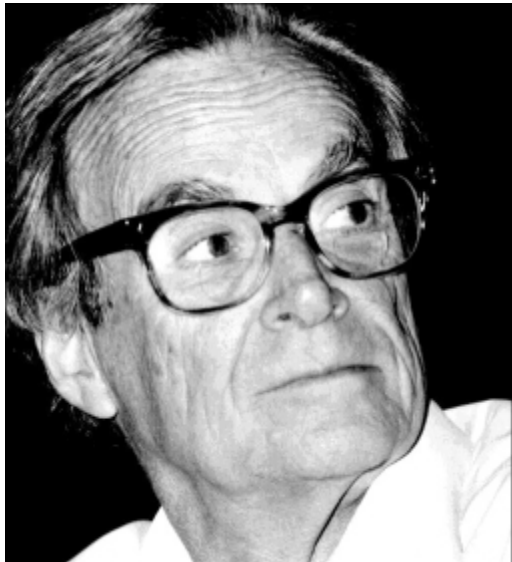
На 16 юни 2000 г. след тежко боледуване почина един от доайените на българската физика професор д-р Нено Иванчев, дългогодишен преподавател и ръководител на катедра Физика (от 1953 г. до 1988 г.) на Университета по архитектура, строителство и геодезия в София. Проф. Иванчев е роден на 7.12.1921 г. в с. Орлене, Ловешки окръг. През 1946 г. става асистент в Държавната политехника, а след разделянето ѝ на институти през 1953 г., е сред основателите на Хидротехническият факултет на Инженерно-строителния институт. През 1955/56 г. и 1958/59 г. е декан на същия факултет. Заема редица отговорни постове в КМИАЕ, МНО и в БКП, за което е награждаван многократно.

За студенти и колеги проф. Иванчев е изтъкнат преподавател и специалист по физика, отдал професионалните си умения за развитието на образованието в България. Като такъв ще го запомнят и студентите от УАСГ и Югозападния у-тет, в който той е между първите лектори по физика.

*Поклон пред паметта му!*

## РИЧАРД ФАЙНМАН - ПОЗНАТИЯТ И НЕПОЗНАТИЯТ

### Част 4

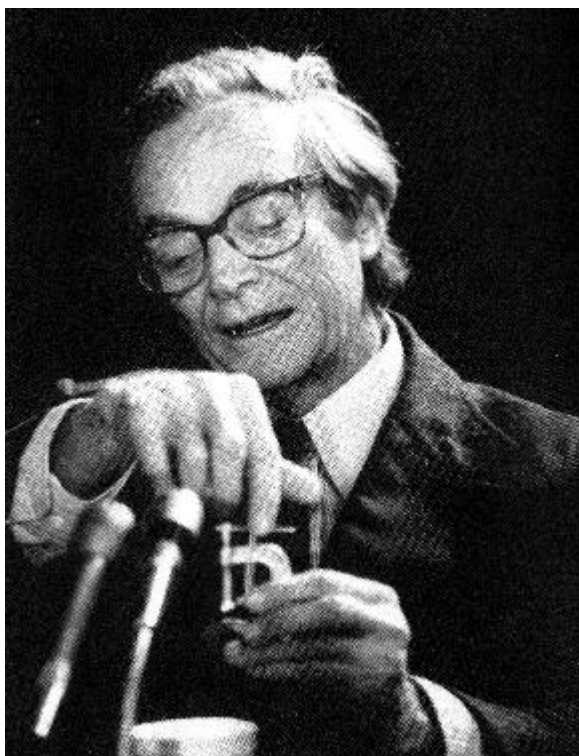


*Файнман рядко е писал или постъпвал като романтик - той дори често бравира с прагматизма си. Читателят сам може да прецени къде е истината, след като прочете "Ценността на науката".*

*През 1985 г. Файнман е прекарал тежко лечение от рак, а скоро след това му откриват и второ раково поражение. Въпреки това през 1986 г. той приема да участва в комисията, която трябва да изясни причините за катастрофата на космическата совалка Challenger.*

*Председател на комисията е бившият държавен секретар У. Роджър. Той се стреми главно да възвърне разклатеното доверие към NASA (National Aeronautics and Space Administration). За Файнман обаче по-важна е истината. В продължение на половин година той не само заседава в комисията, но заедно с това кръстосва цялата страна, среща се с инженери и техници, изяснява всички детайли от конструкцията и функциите на различните възли на совалката. Подреждайки парче по парче мозайката, той стига до извода: секциите на совалката са се взривили от изтичащите горещи газове; газовете са изтекли, защото гумените уплътнители между секциите са загубили еластичността си при ниските атмосферни температури в деня на изстрелването.*

*С прост и изящен експеримент Файнман демонстрира това заключение пред милиони TV зрители: потапя парче гумен уплътнител в ледена вода и показва как гумата загубва еластичността си. По-късно Фримън Дайсън ще коментира: "Хората видяха със собствените си очи как се прави наука, как големият учен мисли с помощта на ръцете си, как природата дава ясен отговор, когато ученият ѝ задава ясен въпрос".*



Файнман демонстрира възможната причина за катастрофата на Challenger.

*Файнман не приема истината да се замъглява и затова пише отделен от комисията доклад, който завършва с думите: "За да бъде успешна технологията, трябва реализмът да доминира над политиката, защото природата не може да бъде заблудена".*

*След това, безнадеждно болен, се завръща в Калифорния, разказва на Ралф Лейтън приключенията си с комисията и не след дълго посреща смъртта си (15 февруари 1988 г.).*

*Оскар Уайлд беше казал: прагматикът знае цената на всичко и не знае стойността на нищо, а романтикът вижда стойността на нещата, но няма представа за пазарната им цена.*

*А какво знае и не знае романтичният прагматик?*

## **7-ПРОЦЕНТНОТО РЕШЕНИЕ (А, 247)**

Проблемът беше да се намерят правилните закони на бета-разпада. Имаше като че ли две частици, наречени  $\tau$  и  $\theta$ . Масите им бяха почти еднакви, но едната се разпадаше на два пиона, а другата - на три пиона. Не само масите им, но и времената им на живот изглеждаха еднакви, което е забавно съвпадение. Това озадачаваше всички.

На един семинар беше съобщено, че когато тези две частици се създават в циклотрон под различни ъгли и с различни енергии, те винаги възникват в еднакви пропорции - толкова на брой  $\tau$  спрямо толкова на брой  $\theta$ .

Разбира се, една възможност е това да е една и съща частица, която понякога се разпада на два пиона, а понякога на три пиона. Но с това никой не би се съгласил, защото съществува закон, наречен правило на четността, който е основан върху предположението, че всички физични закони са огледално симетрични и който гласи, че ако нещо може да става с два пиона, то не може да става с три пиона.

Тогавя точно аз не бях много вътре в тези неща, все малко изоставах. Наоколо ми всички изглеждаха много знаещи, а аз не бях на нивото им. По онова време живеех в една стая с един експериментатор, казваше се Мартин Блок. Една вечер той ме пита: "Защо всички държите толкова на това правило на четността? Може би  $\tau$  и  $\theta$  са една и съща частица. Какво може да се случи, ако правилото на четността е невярно?"

Помислих малко и му отвърнах: "Това ще означава, че природните закони са различни за дясната ръка и за лявата ръка, че има начин дясната ръка да се дефинира с физични явления. Не ми изглежда така ужасно, макар че може и да има някои неприятни последици - само че аз не ги знам. Защо не попиташ утре експертите?"

Казва ми: "А не, те няма да ме изслушат? Попитай ги *ти*."

И така, на следващия ден, когато обсъждаме загадката  $\tau - \theta$ , Опънхаймър казва: "Трябват ни някои нови, още по-диви идеи за проблема."

Ставам аз: "Задавам този въпрос от името на Мартин Блок: Какви ще бъдат следствията, ако правилото на четността не е вярно?"

После Мъри Гел-Ман често ми се подиграваше, че не съм посмял да задам въпроса от свое име. Но не това е причината. Мислех, че това наистина може да се окаже важна идея.

Ли, единият от двамата Ли и Янг, отговори на въпроса с нещо много сложно и както винаги аз не разбрах много добре. В края на семинара Блок ме попита какво е казал Ли и аз му отговорих, че не знам, но че според мен въпросът все още е открит. Не бях уверен, но не беше изключено.

Норм Рамзи ме попита дали според мен той би трябвало да направи експеримент за намиране на нарушена четност и аз му отговорих: "Най-вероятно нищо няма да откриеш, залагам петдесет срещу едно."

"И това ми стига" - рече той. Но никога не направи експеримента.

По-късно Мъри ми каза, че като изнасял лекции в Русия, той използвал идеята за нарушената четност като илюстрация за това до какви чудати и *смахнати* идеи са прибъгвали хората, за да намерят изход от загадката  $\tau - \theta$ !

Все пак нарушаването на четността беше открито - експериментално - от професор У и това разкри много възможности за теорията на бета-разпада. Веднага след това бяха направени още много други експерименти. Някои показваха, че излитащите от ядрата електрони се въртят наляво, други - надясно, а имаше и други видове експерименти, разни интересни открития за четността. Но тези данни бяха така объркващи, че никой не виждаше изход.

По едно време се състоя ежегодната конференция в Рочестър [щ. Ню Йорк, 1956 г.; *б.пр.*]. Аз продължавах да изоставам, докато Ли вече докладваше работата си за нарушаване на четността. Заедно с Янг те бяха стигнали до заключение, че четността се нарушава и сега излагаше тяхната теория за това явление.

По време на конференцията бях отседнал заедно със сестра си в Сиракуза. Донесох копие от доклада в квартирата и ѝ казвам: "Не мога да разбера нещата, които говорят Ли и Янг. Всичко е така объркано и сложно."

"Не", отвърща ми тя, "ти искаш да кажеш *не*, че не разбираш, а че не си *измислил* тези неща. Не си стигнал до тях по свой *собствен* път, след като си чул в какво е проблемът. Това, което трябва да направиш, е да си представиш, че отново си студент, да вземеш доклада в стаята си, да го прочетеш ред по ред и да провериш формулите. Тогава ще го разбереш много лесно."

Послушах съвета ѝ, проверих всички формули и установих, че всичко е просто и много очевидно. Боях се да чета материала, защото смятах, че е много труден.

Той ми напомни нещо, което бях правил преди много време с ляво и дясно несиметрични уравнения. Сега, след като видях формулите на Ли, ми стана ясно, че решението на тази задача е много по-просто: всичко се оказва свързано с лявата ориентация. За електрона и мюона моите предсказания се оказаха същите като тези на Ли, след като тук и там смених някои знаци. Не бях разбрал на момента, че Ли беше взел само най-простия пример за мюонно свързване и не беше доказал, че всички мюони ще са дясно ориентирани, докато по моята теория автоматично всички мюони са ориентирани така. Така че в действителност аз имах едно предсказание в повече от тези, които той беше направил. Знаците ми бяха различни, но още не осъзнавах, че и тази величина при мен е правилна.

Успях да предскажа допълнително няколко неща, за които още никой не беше правил експерименти, но когато работите дойдоха до неутрона и протона, не можах да съгласувам резултатите с онова, което тогава се знаеше за свързването на протона и неутрона; не всичко беше наред.

На следващия ден, когато отидох на заседанието, един много любезен колега, Кен Кейз, който щеше да докладва, ми отстъпи пет минути от своето време, за да мога да изложа идеята си. Изтъкнах убеждението си, че всичко е свързано с лявата ориентация и че знаците за електрона и мюона са обърнати, но че срещам затруднения с неутрона. След това някои от експериментаторите ме запитаха какви са ми предсказанията. Малко по-късно заминах за Бразилия и прекарах там лятото.

Когато се завърнах в Съединените Щати, поисках да разбера какво е положението с бета-разпада. Отидох в лабораторията на професор У в Колумбийския университет, нея я нямаше, но нейна сътрудничка ми показа всички данни и най-различни хаотични числа, които с нищо не се връзваха. Електроните, които по моя модел трябваше при бета-разпада всички да излитат с въртене наляво, в някои случаи се завъртаха надясно. Нищо с нищо не се съгласуваше.

Завърнах се в Калтех и питах някои от експериментаторите какво е положението с бета-разпада. Спомням си как трима души - Ханс Йенсен, Аалдърт Уепстра и Феликс Бьом -

ме сложиха на една малка табуретка и ме отрупаха с най-различни факти: експериментални резултати от други части на страната, както и техните собствени експериментални резултати. Добре познавах тези хора - колко прецизни бяха те - и затова най-много внимание обръщах на техните резултати. Самите тези резултати не бяха така противоречиви.

След като ме заредиха с всичко това, накрая ми казаха: "Положението е така объркано, че даже неща, установени от *години*, се подлагат на съмнение - например, че бета-разпадът на неутрона е S и T. А Мъри казва, че той може да е даже V и A<sup>1</sup>; много е объркано.

Скачам от табуретката и извиквам: "Тогава ВСИЧКО ми е ясно!"

Те помислиха, че се шегувам. Но онова нещо, което ме смущаваше на Рочестърската конференция - разпадите на неутрона и протона: всичко се схождаше с *изключение* на това; но ако вместо S и T беше V и A, тогава и *това* щеше да си е на мястото. Следователно имах цялата теория!

Същата нощ изчислих най-различни неща с помощта на тази теория. Първото нещо, което пресметнах, беше скоростта на разпадане на мюона и неутрона. Ако теорията беше вярна, те би трябвало да са взаимно свързани с определено съотношение и то се оказва вярно с точност 9 процента. Това е доста близо, 9 процента. Би могло да е и по-добре, но това беше доста близо.

Продължих и започнах да се уверявам, че нещата едно след друго се съгласуват, бях много развълнуван. За пръв път в моята кариера аз знаех закон на природата, който никой друг не знаеше<sup>2</sup>. Нещата, които бях правил по-рано, бяха да взема нечия теория и да усъвършенствам метода на изчисляване или да взема някое уравнение, например уравнението на Шрьодингер, и с негова помощ да обясня дадено явление - например в хелия. Знаем уравнението и знаем явлението, но как стават нещата?

Мислех си за Дирак, който за известно време единствен е знаел своето уравнение - ново уравнение, което описва поведението на електрона, - а ето аз сега имам това ново уравнение за бета-разпада, което не е така фундаментално като уравнението на Дирак, но е нещо хубаво. Това беше единственият случай, когато аз открих нов закон.



*Със своя герой Пол А. М. Дирак във Варшава, 1962 г.*

Позвъних на сестра ми в Ню Йорк и ѝ благодарих заедно ме накара да седна и да проуча статията на Ли и Янг на конференцията в Рочестър. Бях се чувствал потиснат и изоставан, а сега бях вътре в нещата, бях направил откритие и то от момента, в който тя ме подтикна. Отново се чувствах способен да правя физика и исках да ѝ благодаря за това. Казах ѝ, че всичко се сходя с изключение на едни 9 процента.

Бях възбуден, продължих да смятам и нещата едно след друго излизаха, автоматично се сглобяваха без никакво напрежение. До този момент бях забравил за 9-те процента, защото всичко останало вървеше така гладко.

Работех увлечено, беше нощ, а аз седях в кухнята, пред малка масичка близо до прозореца. Ставаше все по-късно - около 2 или 3 ч. след полунощ. Работя усилено, пресмятанията са изпълнени с резултати, които добре се сглобяват, аз се замислям, концентрирам се, навън е тихо и тъмно ... когато изведнъж ТАК-ТАК-ТАК-ТАК - на стъклото на прозореца силно се почуква. Поглеждам и пред мен изниква *бяло лице*, допряно до стъклото, само на сантиметри от моето, това ме стряска и аз изкрещявам от изненада!

Беше една позната дама, която ми беше сърдита, защото се бях върнал от ваканция и не бях ѝ се обадил веднага. Пуснах я и се опитах да ѝ обясня, че точно сега съм много зает, че току-що съм открил нещо и то е много важно. Казах ѝ: "Моля те, иди си и ме остави да завърша това."

А тя ми отвърща: "Не, няма да те смущавам. Ще седна в хола."

"Е, добре, но няма да е много удобно."

Тя всъщност не *седеше* в хола. По-скоро беше приклепнала в един ъгъл и държеше ръцете си стиснати, за да "не ме смущава". В действителност целта ѝ беше именно да ме смущава и нервира! И успя - не можех да се абстрахирам от присъствието ѝ. Бях ядосан и разстроен, не можех повече да понасям това. Трябваше да продължа с изчисленията; това беше голямо откритие и аз бях ужасно развълнуван - за мен това беше по-важно от тази дама - поне в този момент. Не помня как накрая успях да я накарам да си тръгне, но беше много трудно.

Поработих още малко и вече беше станало дълбока нощ, а аз бях огладнял. Излязох на булеварда и се запътих към един малък ресторант на около десетина минути път, който често бях посещавал късно през нощта.

В предишни случаи полицията често ме спираше, защото ме виждат как крача, после спирам да размисля - идва ми сложна идея, и е трудно хем да мисля, хем да ходя, трябва да спра и да се уверя в нещо. Тогава те ме виждат как понякога вдигам ръце нагоре и си говоря: "Разстоянието между тези е толкова, после това ще стане така ..."

Ръкомахам, спирам наред улицата и ето го полицаят пред мен: "Как се казвате? Къде живеете? Какво правите?"

"О, размишлявам. Много съжалявам; тук живея и често ходя в ресторант ..." След време те знаеха кой съм и повече не ме спираха ...

На следващия ден отивам при Уепстра, Бьом и Йенсен и им казвам: "Всичко получих и става точно."

Кристи също беше там и казва: "Каква константа на бета-разпада взе?"

"Стойността от тази-и-тази книга."

"За нея се разбра, че е грешна. Последните измервания дадоха със 7 процента по-малка стойност."

Тогава си спомних за 9-те процента. За мен това беше като знамение: бях получил теория, в която неутронният разпад трябва да е с 9 процента занижен, а ето че *на другия ден* ми казват: променен е със 7 процента. Но дали това значи промяна от 9 на 16, което е лошо, или от 9 на 2, което е хубаво?

Точно тогава сестра ми звъни от Ню Йорк: "Какво стана с 9-те процента?"

"Току-що разбрах, че има нови данни: 7 процента ..."

"В каква посока?"

"Тъкмо се опитвам да разбера. Ще ти се обадя по-късно."



Бях така развълнуван, че не можех да мисля. Също като да бързаш с все сили за самолета и не знаеш дали не си закъснял, а в това време някой ти казва: "днес е сезонната смяна на часовете!" Добре де, но *в каква посока?* От възбуда не можеш да съобразиш.

Така че Кристи отиде в една стая, аз - в друга и всеки се зае на спокойствие да обмисли: това върви натам, а това - натам. Не беше много трудно, беше много вълнуващо.

Кристи излиза, аз излизам и двамата сме съгласни: 2 процента е, съвсем в границите на експерименталната грешка. След като константата е уточнена със 7 процента, оставащите 2 процента биха могли да са грешка. Обадих се на сестра си: "Два процента." Теорията беше правилна.

(В действителност беше грешна: не ѝ достигаше 1 процент по причина, която не бях взел под внимание и едва по-късно беше изяснена от Никола Кабибо. Така че тези 2 процента не бяха изцяло експериментални.)

Заедно с Мъри Гел-Ман написахме статия за тази теория<sup>3</sup>. Теорията беше доста приятна - тя беше сравнително проста и обясняваше много неща. Но, както вече казах, ужасно много данни бяха объркани. Затова в някои случаи ние си позволихме да заявим, че експериментите са грешни.

Добър пример в това отношение беше един експеримент на В. Телегди, в който той измерва броя на електроните, излитащи във всяка една посока при разпадането на неутрон. Нашата теория предсказваше, че този брой трябва да е един и същ във всички посоки, докато Телегди установи, че в една определена посока излитат 11 процента повече електрони. Телегди беше отличен експериментатор и беше извънредно внимателен. Веднъж като докладваше, той се позова на нашата теория и забеляза: "Бедата с теоретиците е, че те никога не обръщат внимание на експериментите!"

Телегди ни изпрати още и писмо, което не би могло да се нарече унищожително, но все пак даваше ясно да се разбере неговото убеждение, че нашата теория е погрешна. Накрая завършваше: "Ф-Г (Файнман - Гел-Ман) теорията на бета-разпада не е никаква Ф-Г."

Мъри ме пита: "Какво да правим с това? Телегди все пак е много добър."

Отговорих му: "Просто ще изчакаме."

Два дена по-късно идва второ писмо от Телегди. Променил се е изцяло. От нашата теория разбрал, че е пренебрегвал възможността откатът на протона от неутрона да не е един и същ във всички посоки. Той беше приел, че е един и същ. Като поставил корекциите, предсказвани от нашата теория, на мястото на използваните от *него*, резултатите дошли на мястото си и напълно се съгласували.

Знаех, че Телегди е отличен експериментатор и че би било трудно да му се противоречи. Но по това време вече бях убеден, че нещо не е в ред с неговия експеримент и че *той* ще го открие - това той можеше да направи много по-добре от нас. Ето защо сметнах, че не е нужно да опитваме да открием това, а просто да изчакаме.

Отидох при професор Бейчър и му разказах за нашия успех, а той отвърна: "Да, вие се появявате и казвате, че неутрон-протонната връзка е V, а не T. Всички мислеха, че тя е T. Къде е онзи фундаментален експеримент, който ни кара да вярваме, че е T? Защо не погледнете по-ранните експерименти и не изясните какво не е било в ред при тях?"

Намерих веднага оригиналната статия за този експеримент, в която се казваше, че неутрон-протонната връзка е T, и бях шокиран от нещо. Спомних си, че преди това бях чел тази статия (по онова време, когато прочитях всички статии във *Physical Review* - тогава списанието беше достатъчно тънко). Като видях отново тази статия, аз *си спомних* как при вида на кривата си бях помислил: "Тя *нищичко* не доказва!"

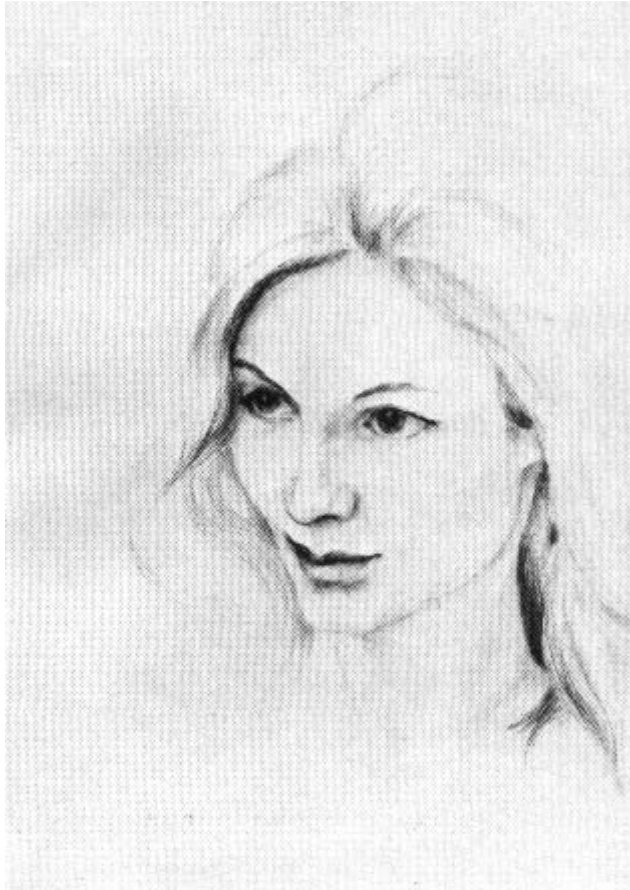
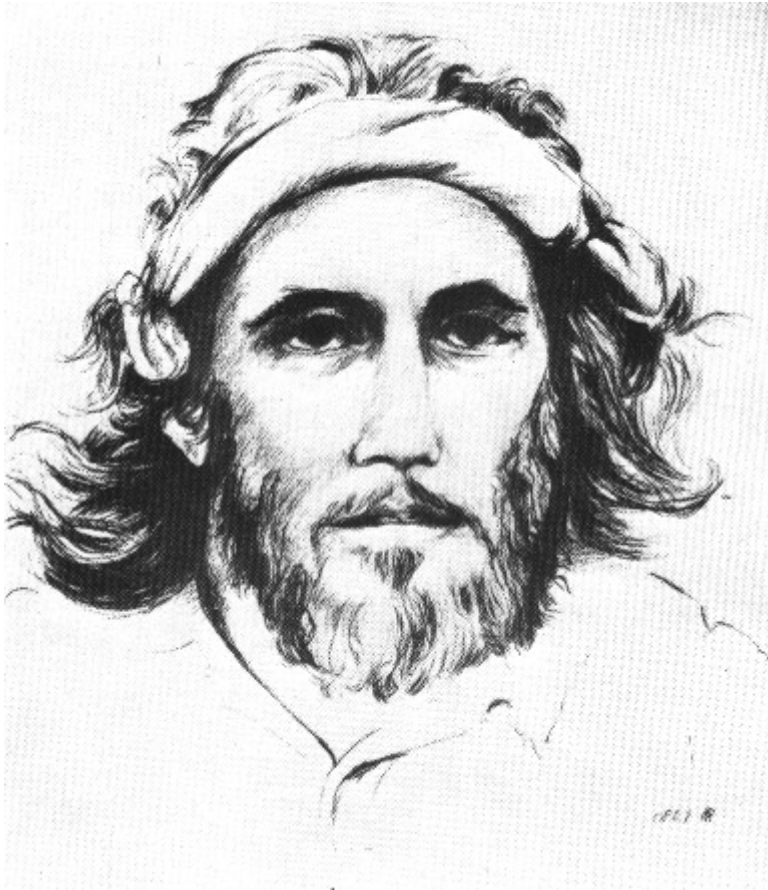
Тази крива се определяше от една или две точки в самия край на интервала на данните, а съществува правило, че точката в края на интервала на данните - последната точка - не е много надеждна, защото ако беше такава, те щяха да имат още една точка по-нататък. И аз бях разбрал, че цялата идея за неутрон-протонна връзка от тип T се основаваше на тази последна точка, която не беше особено надеждна и затова нищо не доказваше. Спомних си, че бях *забелязал* това!

А когато се заинтересувах пряко от бета-разпада, аз изчетох всички статии на "експертите по бета-разпад", в които се твърдеше, че е T. Не погледнах оригиналните данни; прочетох само тези статии като някой глупак. Ако бях *добър* физик, като помислех за конференцията в Рочестър, аз би трябвало веднага да си задам въпроса: "доколко сме сигурни, че е T?" - ето това би било разумно да направя. И веднага бих разбрал, че вече съм *забелязал*, че това не е надеждно доказано.

Оттогава не обръщам никакво внимание на онова, което говорят "експертите". Всичко изчислявам сам. Когато хората започнаха да говорят, че теорията на кварките е много добра, аз взех двама доктори на науките, Фин Равндал и Марк Кислинджър, с които заедно проверихме *всичко* по този въпрос, така че сам да се уверя в правилността на резултатите и в тяхната взаимна съгласуваност и чак тогава се убедих, че теорията наистина е много добра. Никога повече няма да повторя тази грешка да се уповавам на мненията на експертите. Разбира се, човек има само един живот, прави своите собствени грешки, учи се какво да не прави и това е всичко.

## **РИСУНКИТЕ НА ФАЙНМАН (B, VII - X)**

Ричард Файнман започва да взима уроци по живопис от 44-годишна възраст и продължава да рисува до края на живота си. На скиците тук са негов приятел и дъщеря му Мишел (на 14 години). Файнман е подписвал всичките си картини с псевдонима *Ofev*.



*Рисунки, правени от Ричард Файнман*

## ЦЕННОСТТА НА НАУКАТА (В, 181) <sup>4</sup>

### *Предговор*<sup>5</sup>

Когато бях по-млад, мислех, че науката носи добро на всички. Беше очевидно, че тя е полезна; беше хубаво нещо. По време на войната работех по атомната бомба. Този плод на науката очевидно беше нещо много сериозно: той означаваше разрушение за хората.

След войната бомбата много ме тревожеше. Не знаех как ще изглежда бъдещето и изобщо не бях сигурен, че ще оцелеем до днешно време. Затова въпросът беше: носи ли науката някакво зло?

Или, казано другояче, каква е ценността на науката, на която се бях посветил - която обичах, - след като бях видял ужасяващите неща, на които е способна тя? Нямах отговор на този въпрос.

"Ценността на науката" е, ако щете, своеобразен отчет за всичките онези мисли, които ме спохождаха, докато търсех отговора на този въпрос.

### *Ричард Файнман*

От време на време хората ми споменават, че учените трябва да обръщат повече внимание на социалните проблеми - по-специално, че трябва с повече отговорност да се вглеждат във въздействието на науката върху обществото. Както изглежда, преобладава мнението, че ако учените насочат вниманието си към трудните социални проблеми и не пилеят толкова много време за по-малко съществени проблеми, от това ще последва голям успех.

Струва ми се, че ние *наистина* мислим от време на време за тези проблеми, но не влагаме всичките си усилия в тях и това е защото добре знаем, че не разполагаме с магическа формула за решаването на социалните проблеми, че социалните проблеми са много по-трудни от научните и че когато мислим за тях, обикновено не стигаме до никъде.

Смятам, че когато учен разсъждава върху ненаучни проблеми, той е също толкова некомпетентен, както и всеки друг, и че когато разсъждава по въпроси вън от науката, звучи толкова наивно, колкото и всеки, който няма специална подготовка. Тъй като въпросът за ценността на науката *не е* научен, моето слово е посветено на доказателството на това мое схващане - като пример за неговата вярност.

Първият начин, по който науката е ценна, е познат на всички. Научното знание ни дава възможност да правим най-различни неща. Разбира се, ако правим *хубави* неща, това не е заслуга единствено на науката; това е заслуга също на моралния избор, който ни е довел до добрите деяния. Научното знание е сила, която дава възможност да се върши добро или зло - но то не съдържа указания за това как да бъде използвано. Ценността на тази сила е очевидна, макар че начинът на нейното използване може да породви съмнения в това.

При едно пътуване в Хонолулу научих как може да бъде изразен този общочовешки проблем. В един будистки храм монахът обясняваше на туристите някои неща относно будистката религия. Накрая той завърши с думите, че ще ни каже нещо, което ние *никога* няма да забравим. И аз наистина *никога* не го забравих. Беше пословица от будистката религия:

*"На всеки човек е даден ключ за вратите на рая;*

*същият ключ отваря вратите на ада."*

Тогава каква е ценността на ключа към рая? Истина е, че ако не разполагаме с ясни инструкции, които да ни позволяват да определим коя е вратата към рая и коя е вратата към ада, този ключ може да се окаже опасен за употреба.

Но ключът все пак има очевидна ценност - иначе как бихме могли да влезем в рая без него?

Без ключа инструкциите не биха имали никаква стойност. Затова съвсем очевидно е, че макар да е в състояние да накара света да потръпне от ужас, науката е ценна, защото *може да създаде нещо*.

Една друга ценност на науката е удоволствието, наречено интелектуална наслада, което някои хора получават от четенето, изучаването и мисленето за нея, а други получават от работата си в нея. Това е важен момент, който не се осъзнава достатъчно ясно от онези, които ни казват, че наш обществен дълг е да разясняваме въздействието на науката върху обществото.

Дали това чисто лично удоволствие представлява някаква ценност за обществото като цяло? Не! Но трябва да се взимат под внимание целите на самото общество. Трябва ли нещата да се направят така, че хората да могат да им се наслаждават? Ако е така, то насладата от науката е така важна, както всяко друго нещо.

Но аз *не бих* искал да подценявам ценността на светогледа, който е резултат от развитието на науката. В науката ни се налага да си представяме най-различни неща, които са безкрайно много по-удивителни от фантазиите на поети и мечтатели от миналото. Науката показва, че въображението на природата е далеч по-силно от човешкото въображение. Така например колко по-удивителен е фактът, че някакво загадъчно привличане закрепва всички ни - половината от нас с главата надолу - към едно въртящо се кълбо, което се носи из пространството в продължение на милиарди години, вместо да си представяме, че сме на гърба на слон, който е стъпил върху костенурка, плуваща в бездънно море.

Много пъти съм размишлявал насаме за тези неща и затова се надявам, че ще ме извините, задето ви говоря за размисли, които, сигурен съм, мнозина от вас вече са имали, но които в миналото никой не би могъл да има, защото хората тогава не са разполагали с информацията, която ние днес имаме за света. Ето аз стоя на брега на океана - сам - и започвам да размишлявам.

Там са връхлитащите вълни -  
планини от молекули,

всяка с тъпа упоритост върши своето,  
трилиони единици,  
но все пак в унисон правят бял гребен.

Векове след векове,  
много преди да има очи да гледат,  
година след година  
с грохот се стоварват върху брега, както и сега.  
За кого, за какво?  
Върху мъртва планета  
без живот, който да й се радва.

Никога в покой,  
мъчени от енергията,  
безумно разпилявана от слънцето,  
изливана в пространството.  
Червейче кара океана да бучи.

Дълбоко в океана  
всички молекули повтарят  
това, което други правят,  
докато възникнат нови, все по-сложни.  
От тях възникват други като тях  
и танцът пак се обновява.

Растат на размери и сложност  
живите неща -  
маса атоми,  
ДНК, протеини  
във вихъра на все по-сложен танц.

Вън от люлката  
върху сушата  
ето го  
изправен:  
атоми със съзнание,  
вещество с любопитство.

Стои на брега  
учудва се на чудото: аз -  
вселена от атоми,  
атом във вселената.

Същата тръпка, същото благоговение и усещане за загадъчност ни спохождат отново и отново, когато се вгледаме достатъчно задълбочено в който и да е въпрос. Заедно с по-дълбокото знание идва по-дълбока и по-удивителна мистерия, мамеща ни да проникваме още по-дълбоко. Без никакво замисляне, че отговорът може да се окаже разочароващ - с наслада и с упование ние преобръщаме всеки нов камък на пътя си, за да намерим невъобразима странност, водеща към още по-удивителни въпроси и загадки. Това е великолепно приключение!

Вярно е, че някои от хората извън науката имат особен вид религиозен опит. Поетите не се опитват да пишат за него, художниците не се опитват да изобразят това забележително нещо. Не знам защо. Никой ли не черпи вдъхновение от нашата съвременна картина на Вселената? За тази ценност на науката още не са пели певци: всичко, което можете да чуete, е не песен или поема, а вечерна лекция като тази. Това още не е век на науката.

Вероятно една от причините за това мълчание е, че човек трябва да знае да чуе музиката. Например в научната статия може да се казва: "Съдържанието на радиоактивен фосфор в мозъка на плъх намалява наполовина за срок от две седмици." Какво означава това?

Това означава, че фосфорът, който се съдържа в мозъка на плъха - а също в моя и във вашия, - не е същият фосфор, който е бил преди две седмици. Това означава, че атомите в мозъка се подменят - онези, които са били там преди две седмици, вече ги няма.

Тогава какво представлява този наш мозък, какви са тези атоми със съзнание? Лански сняг! Те сега си спомнят какво е ставало в моя мозък преди една година - мозък, който отдавна е бил подменен.

Да се посочи, че нещото, което аз наричам моя индивидуалност, е само рисунък или танц, *това именно* се подразбира, когато се изясни колко време е нужно атомите на мозъка да бъдат заменени от други атоми. Атомите постъпват в моя мозък, изиграват своя танц и след това си отиват - винаги има нови атоми, но те винаги изпълняват един и същ танц, помнят какъв е бил вчерашният танц.

Когато четем за това във вестниците, там пише: "Учените казват, че това откритие може да е от значение за търсенето на лекарство против рака." Вестниците ги интересува само ползата от идеята, а не самата идея. Рядко някой е в състояние да разбере значимостта на една идея, това е интересен факт. С изключение, може би, на няколко деца, които улавят смисъла ѝ. А когато едно дете схване подобна идея, пред нас е учен. Когато попаднат в университетите, за тях е твърде късно<sup>6</sup> да вникнат в духа на това, така че ние трябва да се опитаме да обясним тези идеи на децата.

Нека сега се обърнем към една трета ценност на науката. Тя лежи малко встрани, но не много. Ученият набира изобилен опит с невежеството, съмненията и неувереността, а този опит, мисля, е от голямо значение. Когато един учен не знае отговора на един проблем, той е невежа. Когато има предчувствие какъв трябва да е отговорът, той е неуверен. А когато е дяволски много сигурен за това какъв ще бъде отговорът, той все пак изпитва някакви съмнения. Установили сме, че за да можем да се придвижваме напред, извънредно важно е да признаваме невежеството си и да оставяме място за съмнения. Научното знание е тяло от изказвания с променливи степени на увереност - някои са съвсем несигурни, други са почти сигурни, но нито едно не е *абсолютно* сигурно.

Но ние учените сме свикнали с това и приемаме без колебание, че няма нищо лошо в това да сме несигурни, че спокойно можем да живеем, без да знаем. Но не знам дали всеки разбира, че това е вярно. Нашата свобода да се съмняваме се е родила в борбата срещу авторитетите през ранното време на науката. Това е била извънредно дълбока и ожесточена борба: разрешете да не вярваме - да се съмняваме - да не бъдем сигурни.

Смятам, че е много важно да не забравяме за тази борба и с това вероятно да загубим това, което сме извоювали. Това е отговорност спрямо обществото.

Ние всички изпитваме печал, когато отбелязваме удивителните възможности, с които биха могли да разполагат човешките същества, и ги противопоставяме на техните малки постижения. Хората постоянно очакват, че бихме могли да постигнем много повече. Онези от миналото са виждали в кошмара на своето настояще сънищата си за бъдещето. Ние, хората от *тяхното* бъдеще, виждаме, че техните сънища в някои случаи са надминати, но в много повече случаи са си останали сънища. По-голямата част от днешните мечти за бъдещето са мечтите от вчера.

Едно време се е смятало, че възможностите на хората не са се развили, защото повечето от тях са били необразовани. Може ли универсалното образование да направи от всички хора Волтеровци? Лошите могат да бъдат обучавани поне толкова ефикасно, колкото и добрите. Образованието е голяма сила, но или за добро, или за зло.

Засилените комуникации между народите трябва да допринесат за взаимното разбиране - това е още една мечта. Но машините за комуникации могат да се манипулират. Предаваната информация може да бъде истина или лъжа. Комуникацията е голяма сила, но тя също е или за добро, или за зло.

Приложните науки би трябвало да освободят хората поне от техните материални проблеми. Медицината се справя с болестите. Тук нещата като че ли клонят към добрата страна. Но заедно с това има хора, които днес търпеливо се трудят, за да създават епидемии и отрови за нуждите на утрешни войни.

Почти всеки човек мрази войната. Нашата днешна мечта е мирът. В мирни условия човек най-добре може да развива огромните възможности, с които се смята, че разполага. Но не е изключено хората от бъдещето да решат, че и мирът може да бъде добър и лош. Може би в мирно време хората ще се напиват от скука. И тогава вероятно пиенето ще се превърне в онова голямо препятствие, заради което хората все не успяват да постигнат всичко, което е по техните възможности.

Няма съмнение, мирът е много важен фактор - както са трезвеността, материалната мощ, комуникациите, образованието, честността и още много идеали на мечтателите. В сравнение с хората от древността ние разполагаме със значително по-големи възможности да управляваме тези фактори. И, може би, някои неща ние правим малко по-добре, отколкото повечето от тях са можели. Но онова, което ние би трябвало да сме способни да правим, изглежда огромно в сравнение с нашите объркани постижения.

Защо е така? Защо не можем да преодолеем самите себе си?

Защото установяваме, че даже огромните възможности и сили не носят със себе си ясни инструкции за това как да ги прилагаме. Така например натрупаните огромни знания за физическия свят само ни убеждават, че в неговото поведение като че ли не прозира особен смисъл. Науките не дават непосредствено знание за доброто и злото.

През всичките отминали столетия хората са се опитвали да вникнат в смисъла на живота. Те разбрали, че ако с нашите действия може да се свърже някаква посока или някакъв смисъл, с това ще се отрищат огромни човешки сили. Давани са твърде много



отговори на въпроса за смисъла на всичко. Но тези отговори са били от най-различен характер и поддръжниците на един отговор са се ужасявали пред действията на привържениците на друг отговор; този ужас е породен от убеждението, че в условията на несъгласия между възгледите всички огромни възможности на човешката раса се канализират в задънена посока. Фактически именно въз основа на чудовищните деяния, извършвани заради фалшиви вярвания, философите са се убедили в неограничените и удивителни способности на човешките същества. Мечтата е да се изнамери открит канал.

Тогава какъв е смисълът на всичко това? Какво трябва да изречем, за да се освободим от магията на мистерията на съществуването?

Ако вземем под внимание всичко - не само онова, което са знаели древните хора, но и всичко, което днес знаем ние, а те не са знаели, - тогава, мисля, ще трябва честно да си признаем, че *ние не знаем*.

Но, признавайки това, ние вероятно попадаме на отворения канал.

Това не е нова идея - това е схващането от ерата на просвещението. Това е философията, от която са се ръководели хората, създали демокрацията, в която живеем. Разбирането, че в действителност никой не знае как да управлява държавата, довежда до идеята, че трябва да създадем такава система, която да позволява новите идеи да се развиват, да се изпробват и, ако се налага, да се отхвърлят, а на тяхно място да се издигат нови идеи - система на пробите и грешките. Този метод е следствие от факта, че още в края на 18 в. науката показва, че тя е успешно начинание. Още по онова време социално ориентираните хора разбраха, че за развитието е важно да има отворени възможности, че съмнението и дискусията са съществено необходими за напредъка в неизвестното. Ако искаме да решим проблем, с който по-рано не сме се сблъскали, ние трябва да оставим вратата широко отворена за неизвестното.

Намираме се едва в началото на времето за човешката раса. Естествено е да сме изправени пред много проблеми. Но в бъдещето има още десетки хиляди години. Нашата отговорност е да правим това, което можем, да учим, каквото можем, да подобряваме решенията и да ги предаваме по-нататък. Наш дълг е да оставим на хората от бъдещето свобода на действията. В безразсъдната младост на човечеството можем да направим тежки грешки, които задълго да спрат нашия растеж. А това би станало, ако твърдим, че разполагаме сега с отговорите - при цялата наша младост и невежество. Ако потиснем всяка дискусия и всяка критика, заявявайки: "Това е отговорът, приятели - човекът е спасен!", ние задълго ще обречем човечеството на веригите на авторитета, затворен в ограниченията на нашето сегашно въображение. Това е правено много пъти по-рано.

Наш дълг като учени е, познавайки значителния прогрес, който произтича от една удовлетворителна философия на невежеството, познавайки значителния прогрес, който е плод на свободата на мисълта, да прокламираме ценността на тази свобода; да проповядваме, че не трябва да се боим от съмненията, а да ги приветстваме и обсъждаме; и да изискваме тази свобода да е наш дълг към всички идни поколения.

Встъпителни бележки, съставителство и превод: **М. Бушев**

---

<sup>1</sup> S - скаларно, T - тензорно, V - векторно, A - аксиално взаимодействие на електрон-неутринното поле с нуклоните. - *Бел. прев.*

<sup>2</sup> Това изречение предизвикало силния гняв на М. Гел-Ман. Поради това в следващите издания Файнман включил, в скоби, изречението: "Това, разбира се, не беше вярно; но по-късното изясняване, че поне Мъри Гел-Ман - а също Сударшан и Маршак - бяха развили същата теория, не развали удоволствието ми (Глейк, с. 411). - *Бел. прев.*

<sup>3</sup> Feynman R.P., Gell-Mann M., *Theory of the Fermi Interaction*, Phys. Rev. **109** (1958), p. 193. - *Бел. прев.*

<sup>4</sup> Слово, произнесено през есента на 1955 г. в Националната Академия на Науките.

<sup>5</sup> В книгата **В** текстът на това слово е включен като епилог и предговорът е написан специално за изданието. - *Бел. прев.*

<sup>6</sup> Сега бих се изразил: "За тях е късно - макар и не твърде късно - да вникнат в духа ..."